



# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

### Rozbor příčin vybraných vad odlitků při nízkotlakém lití

### Analysis of defects in Aluminum cast alloys during low-pressure casting

Karolína Němečková

**KSP – 512**

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Iva Nová, CSc. – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Ing. Libor Tengler – *Slévárna Beneš a Lát a.s.,  
Průhonice*

#### Rozsah práce a příloh:

Počet stran	86
Počet tabulek	9
Počet příloh	5
Počet obrázků	43

26.5. 2006



# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: M2301 Strojní inženýrství

Diplomant: Karolína Němečková

Téma práce: Rozbor příčin vybraných vad odlitků při nízkotlakovém lití

Analysis of defects in Aluminum cast alloys during low-pressure casting

Číslo DP: KSP – 512

Vedoucí DP: prof. Ing. Iva Nová, CSc. – *TU v Liberci*

Konzultant DP: Ing. Libor Tengler – *Slévárna Beneš a Lát a.s.,  
Průhonice*

**Abstrakt:** Předložená diplomová práce se zabývá rozbořem příčin vzniku vad v odlitcích ze slitin hliníku AlSi10Mg, odlévaných metodou nízkotlakového lití a nalezení způsobu, který by vedl k jejich následnému snížení. V teoretické části diplomové práce je popsána metoda nízkotlakového lití s metalurgickou přípravou taveniny a jsou tu rozebrány příčiny vzniku oxidických blan a možnosti jejich odstranění. V experimentální části diplomové práce je uvedeno zavedení navržených opatření a jejich ověřování s následným vyhodnocením. Dále je zde uvedeno i ekonomické zhodnocení.



**Abstract:** This thesis contains the analysis of causes of defects in Aluminum cast alloys AlSi10Mg cast by the method of low-pressure casting and finding methods which would lead to their decrease. The theoretical part of the thesis describes the method of low-pressure casting with metallurgic smelting and the causes of coating due to oxidation as well as the analysis of eliminatory methods. The experimental part of the thesis introduces suggested methods and their verification and assessment. It also contains their economic evaluation.



**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 26. Května 2006

.....

Karolína Němečková

Severní 352

53825 Nasavrky



## P o d ě k o v á n í

Děkuji prof. Ing. Ivě Nové, CSc. a Ing. Liborovi Tenglerovi za odborné a inspirující vedení, za pomoc a cenné rady při vypracování této diplomové práce. Dále panu Bc. Karlu Horkému za praktickou pomoc při provádění experimentálních prací a celé firmě Beneš a Lát a.s., že mi umožnila vypracování mé diplomové práce.

Největší dík však patří mým rodičům za podporu během celého studia.



## **OBSAH:**

<b>1.</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE.....</b>	<b>12</b>
2.1	Charakteristika technologie nízkotlakého lití.....	12
2.1.1	Parametry při nízkotlakém lití.....	15
2.1.2	Zásady konstrukce formy a odlitku nízkotlakého zařízení....	17
2.1.3	Materiál forem a způsob ošetření pracovního povrchu.....	22
2.2.	Hliník a jeho slévárenské slitiny.....	23
2.2.1	Rozdělení slévárenských slitin hliníku.....	25
2.3	Metalurgická příprava taveniny ze slitin hliníku pro nízkotlaké lití.....	29
2.3.1	Technologický postup přípravy taveniny hliníku.....	29
2.3.2	Děje probíhající během tavení.....	31
2.4	Čištění a úprava taveniny hliníku.....	35
2.4.1	Odplynění taveniny.....	36
2.4.2	Rafinace taveniny.....	39
2.4.3	Očkování taveniny.....	41
2.4.4	Modifikace taveniny.....	43
2.5	Vady odlitků ze slitin hliníku.....	46
2.5.1	Nekovové vměstky.....	46
2.5.2	Oxidace slitin hliníku.....	53
2.6	Technologické způsoby snížení výskytu oxidických blan....	56
<b>3.</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE.....</b>	<b>61</b>
3.1	Rozbor vad způsobených nevhodnou technologií a metalurgií.....	62
3.1.1	Metalografické zhodnocení struktury hliníkových odlitků.....	63
3.2	Rozbor metalurgie a technologie výroby odlitku.....	70
3.3	Návrh opatření ke snížení výskytu oxidických blan.....	73
3.4	Experimentální ověření navržených opatření.....	74
3.4.1	Odplynění taveniny pomocí dusíku.....	74
3.4.2	Filtrace ocelovými sítky.....	76
3.4.3	Kombinace odplynění dusíkem a filtrace ocelovými sítky....	77
3.5	Výsledky zavedených opatření.....	77
<b>4.</b>	<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>80</b>



<b>5.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>82</b>
<b>6.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>84</b>
<b>PŘÍLOHY</b>		



## Seznam značek a symbolů:

A – tažnost [%],

$c_l$  – měrná tepelná kapacita pro kapalný stav [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ],

$c_s$  – měrná tepelná kapacita pro tuhý stav [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ],

d – průměr plnicí trubice [m],

H – příslušná tlaková výška [cm],

h – hodnota maximální výšky taveniny [cm],

$h_{\text{odl}}$  – výška odlitku [m],

J – Joule – základní jednotka energie,

L – skupenské teplo tání (tuhnutí) [ $\text{J.kg}^{-1}$ ],

$L_{\text{kr}}$  – skupenské tání tuhnutí [ $\text{J.kg}^{-1}$ ],

m – hmotnost taveného materiálu [kg],

$m_0$  – hmotnost odlitku [kg],

P.B. – Pilling-Bedworthův poměr [1],

$p_1$  – konečný tlak plynu na hladinu kovu v peci [MPa],

$p_2$  – tlak nad hladinou kovu v plnicí trubici [MPa],

$p_{\text{max}}$  – hodnota maximálního tlak [MPa];

Re – mez kluzu [MPa],

Rm – mez pevnosti [MPa],

$R_{p0,2}$  – smluvní mez pevnosti [MPa],

S – průřez plnicí trubice [m],

$T_{\text{kr}}$  – teplota krystalizace [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$T_L$  – teplota lití [ $^{\circ}\text{C}$ ].

$T_{\text{ok}}$  – teplota okolí [ $^{\circ}\text{C}$ ],

t – čas plnění formy [s],

Q – teoretické množství tepelné energie [J],





$\rho$  – hustota kovu v  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ ,

$\rho_{\text{Al}}$  – hustota taveniny  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ ,

$\rho_{\text{Al}_2\text{O}_3}$  – hustota vzniklého oxidu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ ,

$\mu$  – koeficient hydraulických ztrát (odporů) [1],

$v$  – rychlost plnění formy  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ .



## 1. ÚVOD

V současné době značný význam při výrobě odlitků nalézají produktivní způsoby jejich výroby. K těm se řadí také nízkotlaké lití odlitků ze slitin hliníku. Touto technologií lze odlévat nejrůznější odlitky pro automobilový průmysl (např. vodou nebo vzduchem chlazené hlavy bloků motorů, písty), lopatková kola, lopatky turbín apod. Dále se lijí odlitky přírubových tvarů (např. disky kol, čela textilních válu, atd.). Metoda je zvláště výhodná pro velkosériovou výrobu odlitků.

Výrobou odlitků ze slitin hliníku nízkotlakým způsobem se v České republice zabývá více firem jako např. Ronal Jičín, Alukola Ostrava, Unitherm Jablonec n. Nisou. Dalším důležitým výrobcem těchto odlitků je firma Beneš a Lát Průhonice.

Počátky této firmy se datují z roku 1934, kdy pan Josef Beneš založil v Praze Holešovicích živnost – strojní zámečnictví. V roce 1938 začala výstavba nové provozovny v současném místě, v Průhonicích. Výstavba nového objektu, který je dnes provozem tlakového lití slitin zinku trvala do roku 1939. Zde začala první výrobní činnost společnosti Josef Beneš, slévárna a strojírna. První výrobní program se orientoval na zámečnickou výrobu a odlévání slitin hliníku.

V roce 1948 dochází k znárodnění firmy a v roce 1992 byl podnik privatizován na společnost BENEŠ a LÁT v.o.s., vlastněnou paní Látovou a jejími syny.

V roce 1993 je podnik na základě privatizačního projektu transformován na společnost s ručením omezeným. Během následujících let podnik splatil veškeré závazky vůči fondu národního majetku. V roce 1998 proběhla transformace na akciovou společnost. Beneš a Lát, slévárna a strojírna a.s. je výrobním podnikem, který se specializuje na komerční odlévání odlitků ze slitin hliníku a zinku. Jednotlivé výrobní technologie jsou orientovány na středně sériovou a sériovou výrobu odlitků s vysokými požadavky na přesnost, mechanické a fyzikální vlastnosti a vnitřní homogenitu.



Hlavní výrobní technologie jsou gravitační a nízkotlaké lití na slévárně hliníku a tlakové lití na slévárně zinku. Slévárna odlévá odlitky od hmotnosti 0,1kg do cca 15 kg ze slitiny hliník–křemík–hořčík podle EN norem. V současné době je zavedeno pět druhů slitiny hliník – křemík. Slévárna se snaží přizpůsobovat potřebám zákazníka a proto byla nově zavedena slitina  $\text{AlZn10Si8Mg}$ . Slitina se nazývá obchodním názvem UNIFONT 90. Podle toku materiálu dělí provoz Al na taviřnu, slévárnu, pilárnu, cídírnu a tepelné zpracování.

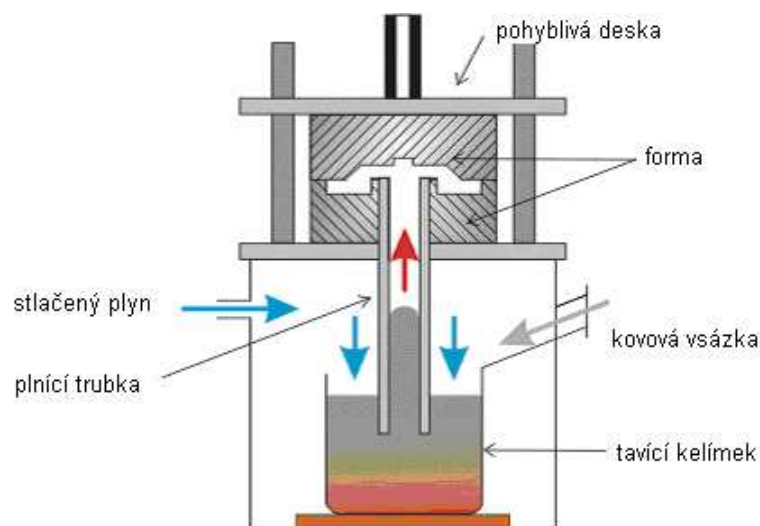
Pro výrobu odlitků ze slitin hliníku používá slévárna dvou technologií (gravitační lití do kovových forem a nízkotlaké lití do kovových forem). Měsíční produkce slévárny se pohybuje okolo 80 tun odlitků. V současné době jsou při výrobě odlitků ze slitin hliníku nízkotlakým způsobem řešeny některé problémy týkající se značného výskytu oxidických blan v některých odlitcích.

Tímto problémem se zabývá i má diplomová práce, která je na téma: „Rozbor příčin vybraných vad odlitků při nízkotlakém lití“.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE

### 2.1 Charakteristika technologie nízkotlakového lití

Nízkotlaké lití je způsob výroby odlitků, který využívá pro plnění dutiny slévárenské formy taveninou tlaku plynu působícího na taveninu 0,01 až 0,07 MPa. Tento tlak působí na taveninu v udržovací peci. Pro odlévání slitin hliníku se používá tlak 0,02 až 0,03 MPa. Tímto tlakem se tavenina vtlačuje do formy, která je nad pecí upevněna na nízkotlakém stroji. Takto se odlévají odlitky ze slitin kovů s malou hmotností, především ze slitin hliníku. Principem odlévání je vytlačování taveniny z udržovací pece vzhůru do přehřáté dělené kovové formy. Při plnění formy taveninou může být využito vakuování vršku formy (princip nasávání). Po zaplnění formy se tlak vyvozený na tekutou fázi v lící peci udržuje do ukončení tuhnutí odlitku. Horní část formy je pohyblivá a obsahuje vyhazovače. Schéma metody je na obr. 2.1 a na obr. 2.2 je uvedeno schéma výroby odlitků nízkotlakým litím. Na obr. 2.3 jsou uvedeny odlitky ze slitin hliníku vyrobené nízkotlakým litím.

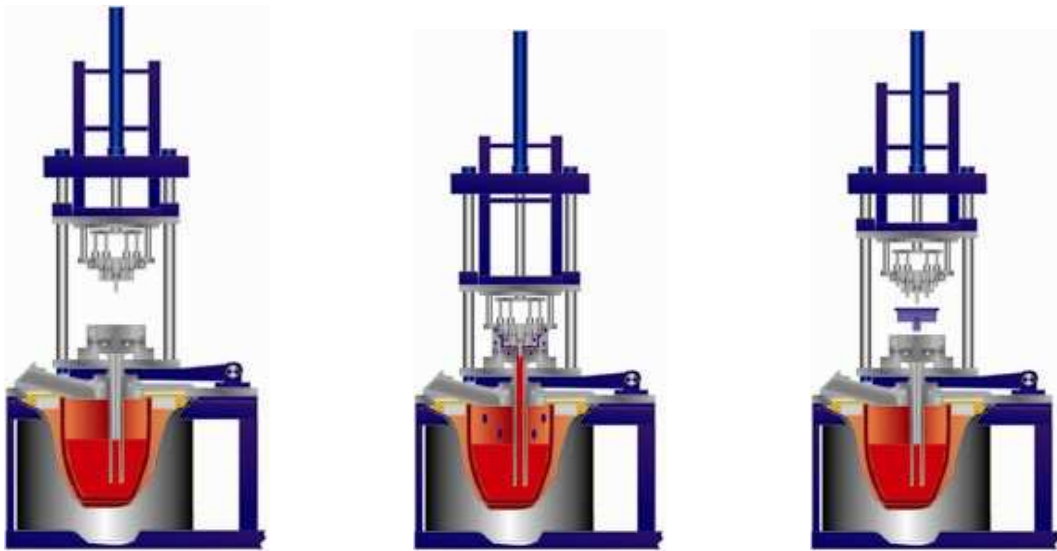


Obr. 2.1 Schéma nízkotlakého lití

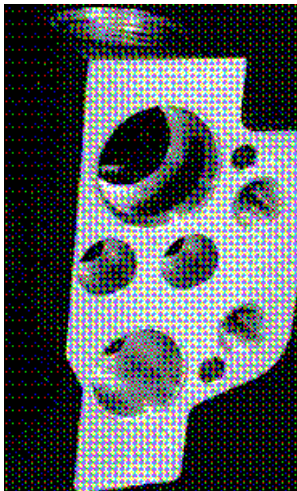
Volba technologie nízkotlakého lití závisí především na konstrukci, hmotnosti a materiálu odlitku. Nízkotlakým litím získáváme odlitky s větší hustotou stěn. Tuto metodu můžeme srovnávat s gravitačním litím do



kovových forem, avšak nízkotlaké lití má řadu výhod. Hliníkové odlitky vyžadují klidné plnění formy, což nízkotlaké lití umožňuje. Plnění dutiny je klidné, proto je kvalita odlitku vysoká. Tuto technologii je nutno volit i s ohledem na její výhody, popř. nevýhody.



Obr. 2.2 Schéma výroby odlitku nízkotlakým litím



Obr. 2.3 Odlitky ze slitin hliníku vyráběné nízkotlakým litím

K výhodám nízkotlakého lití patří v porovnání s vysokotlakým litím to, že lze získat odlitky kompaktnější s menší vnitřní porózitou. K tomu přispívá klidné plnění dutiny formy. Současně nízkotlaké lití se vyznačuje značným využitím tekutého kovu (cca 90%) v důsledku použití plnicí trubice, která



současně plní jak funkci vtokové soustavy, tak i nálitku. Proti odlévání do pískových forem se dosahují tímto způsobem odlitky s vyššími mechanickými hodnotami. Relativně jsou nižší finanční náklady na zařízení v porovnání se zařízeními pro tlakové lití. Náklady na kovové formy pro nízkotlakové lití jsou jen o málo vyšší než je tomu u forem pro gravitační lití. Nízkotlakým litím se dosahuje vyšší kvalita odlitků a též je možnost v jedné kovové formě odlít i více odlitků.

K nevýhodám nízkotlakého lití patří to, že nelze odlévat rozměrné členité odlitky s velkými rozdíly tloušťky stěn nebo odlitky, kde jediný vtokový kanál nezajistí dobrou homogenitu odlitku. Též pro plnění formy taveninou je nutný zdroj a rozvod vysušeného vzduchu.

#### Popis zařízení pro nízkotlaké lití

Zařízení pro nízkotlaké lití je tlakový stroj, viz obr. 2.4, na kterém je upevněna kovová forma (kokila). Součástí stroje je udržovací pec, která je hermeticky uzavřena víkem. Součástí zařízení je též plnicí trubice pro dopravu taveniny do dutiny formy.



Obr. 2.4 Pohled na stroj pro nízkotlaké lití



### 2.1.1 Parametry při nízkotlakém lití

Při nízkotlakém lití mají pro výrobu kvalitních odlitků rozhodující význam tyto výrobní parametry: rychlost plnění dutiny formy taveninou, velikost konečného dotlaku a průřez plnicí trubice.

Rychlost plnění formy taveninou lze odvodit na základě Bernoulliho rovnice:

$$v = \mu \cdot \sqrt{2g \left( \frac{p_1 - p_2}{\rho} - H \right)}, \quad (1)$$

kde značí:  $\mu$  - koeficient hydraulických ztrát ( $\mu = 1,0$  až  $1,5$ ),

$p_1$  - konečný tlak plynu na hladinu kovu v peci,

$p_2$  - tlak nad hladinou kovu v plnicí trubici

$H$  - výšku slitiny v plnicí trubici nad úrovní volné hladiny  
v kelímku,

$\rho$  - hustotu taveniny.

Ze vztahu (1) vyplývá, že rychlost pohybu taveniny závisí na tlaku ( $p_1$ ). Rychlost výstupu taveniny v plnicí trubici se během lití mění, avšak nesmí překročit kritickou hodnotu rychlosti, aby nenastala turbulence taveniny. Kritická rychlost pro slitiny hliníku a hořčíku je cca  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Rychlost plnění se volí tak, aby slitina neztuhla před zaplněním celé dutiny formy.

Hodnotu maximálního tlaku pro zaplnění dutiny formy taveninou lze určit podle známého vztahu:

$$p_{\max} = g \cdot \rho \cdot h_{\max} \quad (2)$$

kde značí:  $p_{\max}$  - hodnotu maximálního tlaku,

$\rho$  - hustotu taveniny,

$h$  - hodnota maximální výšky taveniny.

Pracovní tlak musí být tak velký, aby překonal všechny odpory způsobené tlakem plynů ve formě, místními ztrátami při plnění (tenké stěny,



změny směru) a zvětšující se viskozitu taveniny při poklesu teploty. Nárůst pracovního tlaku musí zabezpečit plnění formy optimální rychlostí.

Po vyplnění dutiny formy se zvýší tlak působící na tuhnoucí odlitek - tzv. *dotlak*, na hodnotu 0,088 až 0,12 MPa. Tím se omezí výskyt bublin a pórovitost odlitku.

Průřez plnicí trubice závisí především na hmotnosti a velikosti odlitku a podmínkách plnění formy. Pro poměrně nízké odlitky, kde se předpokládá stejný tlak a rychlost při plnění, se minimální průřez plnicí trubice vypočítá podle vztahu:

$$S = \frac{m_o}{1,42\mu.t.\sqrt{H.\rho}}, \quad (3)$$

kde značí:  $m_o$  - hmotnost odlitku [kg];

$\mu$  - koeficient hydraulických odporů (0,3 do 0,4);

$t$  - čas plnění formy [s];

$H$  - příslušnou tlakovou výšku [m];

$\rho$  - hustotu kovu v [kg . m<sup>-3</sup>].

Plnicí trubice se vyrábí nejčastěji z ocele nebo z litiny s lupínkovým grafitem, je opatřena grafitovým nebo jiným ochranným nátěrem. Její rozměry se určují podle empirických vztahů závislých především na výšce odlitku. Je známo, že pro slitinu podle ČSN 42 4331 závislost mezi průměrem plnicí trubice ( $d$ ) a jinými parametry, které ovlivňují vtokovou soustavu nejlépe charakterizuje vztah:

$$d = 0,0453.h_{odl}^{0,168}, \quad (4)$$

s indexem korelace 0,97. Vztah lze použít jen orientačně. Závislost času plnění dutiny formy na výšce odlitku podle BEDELA tab. 2.5, jak uvádí GRÍGEROVÁ [Zlívárenstvo neželezných kovov]





Tab. 2.5 Hodnoty celkové výšky odlitku s ohledem na čas plnění jak uvádí GRÍGEROVÁ [Zlívárenstvo neželezných kovov ]

Čas plnění $\tau$ (s)	Celková výška odlitku $h$ (m)
1,5	0,2
2,0	0,3
3,0	0,5
4,0	0,7
5,0	1,0

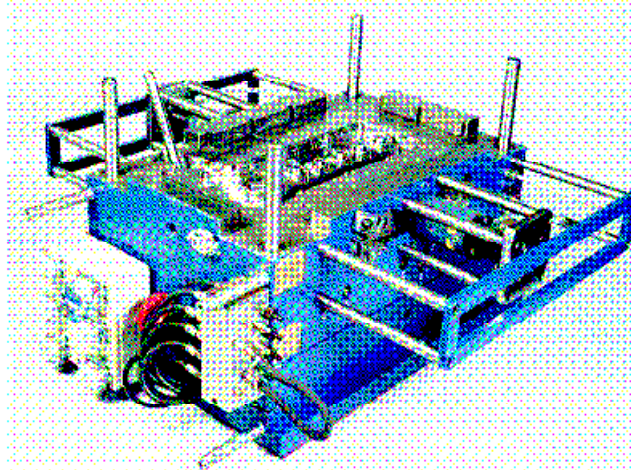
Dutina formy se plní taveninou směrem nahoru. Působící dotlak při tuhnutí taveniny je výhodný pro slitiny tuhnoucí v širokém intervalu teplot. Též je nutné, aby odlitek tuhnul usměrněně, tj. od nejvzdálenějších míst ve formě směrem k plnící trubici, která plní také funkci nálitku.

### 2.1.2 Zásady konstrukce formy a odlitku nízkotlakého zařízení

Konstrukce nízkotlaké formy je poměrně složitá a specifická, jak je patrné z obr. 2.6 a obr. 2.7. Forma nemá v podstatě vlastní vtokovou soustavu. Odlitek je v tlakové formě umístěn tak, aby při otevření formy byl unášen pohyblivou částí a pomocí vyhazovačů vyjmut z pohyblivé části formy.



Obr. 2. 6 Pohled do otevřené formy pro nízkotlaké lítí



Obr. 2. 7 Forma pro nízkotlakové lití, včetně hydraulických prvků

Formy pro nízkotlaké lití mají nejčastěji vodorovnou dělicí rovinou a musí být konstruovány tak, aby odlitek zůstal při rozebírání formy vždy v horní polovině, protože vyhazovací zařízení by se špatně instalovalo ve spodní části formy. Proto je nutné situovat odlitek ve formě již při jejím návrhu.

Současně je třeba zajistit, aby odlitek nezůstával při otevírání formy v některé její části zaklíněn. Proto je vhodné v horní části formy použít složité tvary nebo trny pro předlévání otvorů. Úkoly, slouží ke snadnému vyjímání odlitku z formy, volíme na základě norem ČSN 04 2021, ale je také důležité přihlížet i k technickému zařízení a možnostem slévárny. Zpravidla se ve spodní části formy volí úkoly větší než v horní části formy. Úkos, který se volí většinou  $3^\circ$  musí být zároveň větší než umožňuje vůle a tuhost vedení dílu formy, z důvodu zadírání odlitku při jeho vyjímání z formy. Pro vyjímání odlitků z formy se používají vyhazovače. Počet vyhazovačů a jejich rozmístění volíme tak, aby se odlitek při vytlačování nebortil. Většinou se umísťují do nábojů a zesílení, působí zde i jako chladítka, nebo do nejvyšších částí odlitků, kde působí jako průduchy. Při vytlačování je důležitá tuhost zařízení a dostatečně velký průměr vyhazovačů, aby byl odlitek vytlačen rovnoměrně.

V horní části formy volíme větší přídavky na opracování z důvodu nebezpečí vyplavání nečistot. Naopak v dolní části formy můžeme přídavky



na opracování snížit až na polovinu, ale pouze u odlitků, kde vzniká nebezpečí deformace a nepoužívají se písková jádra, která by mohla zapříčinit možné zadržení.

Určení vtokové soustavy se provádí v závislosti na tloušťce stěny odlitku a nejhmotnějším místě odlitku. Současně je nutno brát v úvahu, že vzdálenější části formy od vtoku jsou chladnější, pak se vytváří přirozený tepelný spád u tuhnutí odlitku. Důležitou částí vtokové soustavy je vtokový kanál, ve kterém dochází k rozpojení taveniny po jejím ztuhnutí v kovové formě a přebytek neztuhlého kovu v plnicí trubici se vrátí zpět do udržovací pece. Z hlediska snadnější výroby je lepší válcový průměr vtoku. Kanál se musí směrem k odlitku kuželovitě rozšiřovat. Napojení kanálku je nejúčinnější v místě nejtlustší stěny odlitku. Možné je i napojení více odlitků na jeden vtokový kanál tak, že odlitky musí být větší než průřez kanálu, aby kov do formy nestříkal. To lze jen u menších odlitků. Doporučený minimální průměr má být 1:1,25. Je možné i jiné napojení vtoku.

Vtoková soustava musí být řešena tak, aby kov do formy volně vystoupal, a naplnil ji bez zbytečného víření, čímž vzniká oxid hlinitý, který se zachycuje na horních plochách formy a zvyšuje nebezpečí vzniku zmetkových odlitků. Důležitá je i rychlost plnění formy kovem. Kov by měl ve formě stoupat tak, aby zaplňoval formu pomalu a rovnoměrně. Rozdíl v teplotách kovu při vstupu do formy a při doběhnutí do nejvzdálenějších tvarů musí být patrný. Pokud se vyskytují odlitky, u kterých nelze zajistit usměrněné tuhnutí, je třeba použít nálitky, které musí být dostatečně velké, uzavřené, dobře odvětrávané a hlavně tepelně izolované. Je důležité si uvědomit, že kov, který vstoupí do nálitku, je chladnější a mají-li být tyto nálitky účinné musí se v nich udržet kov na dané teplotě co nejdéle.

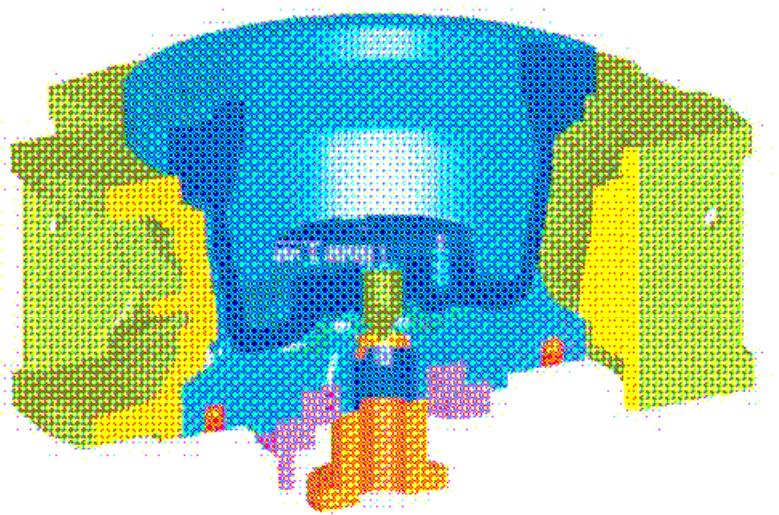
Při konstrukci formy je též důležité její odvětrání, neboť během průchodu kovu plnicí trubicí a formou je před kovem vytlačován nežádoucí vzduch, který musí být z formy včas odstraněn. Toho lze docílit použitím průduchů se šterbinovými drážkami, drážkováním vedení trnů, šterbinami v dělicí rovině, kolíkovými průchody s drážkami nebo ploškami na obvodě, vůlí u vyhazovačů, šterbinami prováděnými ve vložkách.



Místa, ve kterých vzniká nebezpečí nezaběhnutí odlitku z důvodu vzduchového polštáře je odvzdušnění obzvlášť důležité. Proti vtoku nesmí být štěrby větší než 0,1 mm. Vzdálenější místa mohou mít šterbinu do 0,2 mm. Používá-li se pískových jader do nízkotlakých forem, odvzdušnění musí být účinnější. Je-li třeba, mohou se použít i vývěvy, to se týká hlavně složitých a náročných odlitků.

Pro technologii nízkotlakého lití, se musí odlitek navrhnout tak, aby byl odléván s nejmenším výskytem zmetků a bylo dosaženo dobrých ekonomických výsledků. Výkresová dokumentace musí být přesná, aby se mohly doplnit potřebné technologické nástroje (přídavky na opracování, místa vtoků, vyhazovačů, atd.). Dále jsou na něm vyznačeny slévárenské operace a místo pro označení odlitku.

Aby byly zachovány běžné slévárenské zásady pro výrobu kvalitního odlitku, včetně jeho usměrněného tuhnutí je výhodná volba vodorovné dělicí roviny. Do horní části kokily je lepší umisťovat členitou část odlitku. Do spodní části kokily je vhodnější ukládat obrobené základní plochy, protože v horní části je nebezpečí vyplavání a zachycení nečistot. Na vodorovnou dělicí rovinu je možné umístit více odlitků a tyto kokily jsou také jednodušší a levnější. Na obr. 2.8 je zobrazena poloha odlitku (modrá barva) v formě (zeleno-žlutá barva).



Obr. 2.8 Poloha odlitku ve formě



Formy obsahují temperační systém, který slouží pro zajištění homogenní teploty v celém objemu slévárenské formy. Úplně nejdříve se forma musí rovnoměrně předeheřt na provozní teplotu, která se volí podle tloušťky stěny odlitku. Ohřev forem na provozní teplotu je prováděn buď elektricky nebo plamenem. U ohřevu plamenem je lepší použít více malých hořáků. Tam, kde je třeba v provozu udržet stálou teplotu, chráníme povrch izolací proti sálání. Ohřev musí být rovnoměrný, aby nedocházelo k borcení formy.

Jedná-li se o formu se žebrovanými odlitky a slabými stěnami, její provozní teplota bude kolem 350°. U odlitků s tloušťkou větší než je 8 mm, ohříváme na pracovní teplotu 250°. Jednotlivé části formy se v provozu nesmějí přehřívat nebo se naopak nesmí podchladiť pod příslušnou hodnotu.

Též z důvodu tepelně homogenního odlitku musí být forma místně ochlazována. To můžeme zajistit např. zavedením vzduchu do dutiny formy a ofoukáním (např. u pohyblivých jader), ofoukání provádíme tak, že na danou plochu je vháněn vzduch a ohřátý vzduch se vrací do dutiny větším otvorem proti směru ofukování. Dále je ochlazování formy možné zvětšením povrchu formy, např. tak, že povrch formy je opatřen žebry, hmotností formy, chlazením vodou, v bezpečné vzdálenosti od tvaru odlitku, což je asi 30 mm, jsou ve formě vyvrtané otvory, kterými proudí voda. Kanály pro temperační systém jsou umístěny tak, aby napomáhaly usměrněnému tuhnutí odlitku. Velmi výhodné je také zalít ocelové trubky do hliníkových chladítek a přiložit je opracovanou plochou na formu. V poslední době se při hromadné výrobě používá uměle řízeného tuhnutí odlitků. Teplotní pole je rozděleno na pásma tak, aby vznikl odlitek bez vnitřních vad i povrchových vad.

#### Charakteristika utváření nízkotlakového odlitku ve formě

Kov je zvedán nízkým tlakem, který dosahuje 0,02 až 0,04 MPa, do formy kde pod tímto tlakem tuhne. Tuhnutí odlitku ve formě při tlaku stimuluje mezidendritické a vnitrodendritické zhušťování v dvoufázovém pásmu a vytváří hutné uspořádání struktury slitiny. Zvýšení hutnosti odlitku zabezpečuje zvýšení pevnosti a spolehlivosti součástky.



Polohu odlitku volíme tak, aby usměrněné tuhnutí probíhalo směrem zhora dolů, tj. v opačném směru než u klasických metod. Minimální tloušťky stěn odlitku musí být umístěné ve formě co nejvýše, mají se směrem ze shora dolů zvětšovat a tepelné uzly mají být uspořádané co nejnižší. Vtok se zpravidla umísťuje do největšího tepelného uzlu. Ten plní i funkci nálitku.

Odlitek tuhne od nejvyšších částí směrem ke vtoku. Po zaplnění dutiny formy tlak na hladině v peci stále roste. Tlak v peci setrvává do doby než odlitek zcela ztuhne. Plnění formy můžeme ovládat změnou tlaku plynu.

K rozpojení kovu musí dojít ve vtokovém kanálu, který je spojkou mezi odlitkem a plnicí trubicí. V plnicí trubici zůstává kov v tekutém stavu delší čas a zabezpečuje tak kompenzaci smršťování tuhnoucího odlitku. V podstatě tak plní úlohu nálitku. Po ztuhnutí odlitku se stlačený plyn z udržovací pece vypustí a zbytek tekutého kovu z plnicí trubice vyteče do pece.

### **2.1.3 Materiál forem a způsob ošetření pracovního povrchu**

Formy jsou během provozu velice namáhány od cyklických tepelných nárazů a od erozivního působení proudu tekutého kovu. Materiál formy by měl mít dobrou tepelnou vodivost a měl by být snadno obrobitelný. Proto se za vyhovující materiál považuje litina s lupínkovým grafitem a feriticko-perlitickou strukturou bez volného cementitu nebo litina ČSN 42 2420. Vhodná je i ocel, zejména z hlediska statické a únavové pevnosti a navíc jí lze opravovat navařováním.

Postřiky jsou stejné jako u gravitačního lití. Jejich izolační schopnosti snižují tepelný náraz mezi nálitkovým kovem a chladnější kovovou formou. Postřiky chránící formu před erozí taveninou a zlepšující mechanickou funkci formy. Postřiky jsou tvořeny ostřivem, pojivem a nosnou kapalinou. Podle ostřiva se dělí na teplovodné (na bázi koloidního grafitu), které jsou vhodné pro odlitky s menšími úkosi nebo žebrované odlitky, a na izolační. Ty se používají na odlitky s tenkými stěnami, kde teplo od odlitků nestačí udržet formu na potřebné teplotě. Oba druhy postřiků lze míchat v požadovaném



poměru. Forma musí být před nanášením postřiku dokonale čistá a odmaštěná.

## 2.2 Hliník a jeho slévárenské slitiny

K všeobecným vlastnostem hliníku patří dobrá slévatelnost s možností dosáhnout vysoké produktivity při sériové výrobě odlitků, vysoká korozní odolnost, široká možnost povrchových úprav včetně dekorativních, nízká hmotnost odlitku, dobrá obrobitelnost, výhodné optické vlastnosti, regulovatelná odrazivost vůči světelnému i tepelnému záření, vysoká tepelná vodivost, vysoká elektrická vodivost, magnetická neutralita.

Vzhledem rozmanitosti vlastností lze vždy nalézt odpovídající materiál pro nejrůznější aplikace v řadě strojírenských oborů. V tabulce 2.9 jsou uvedeny základní vlastnosti hliníku

Tab. 2.9 Základní vlastnosti hliníku

Hustota	2700 kg.m <sup>-3</sup>
Teplota tání	660 °C
Teplota vypařování	2520 °C
Atomové číslo	13
Atomová hmotnost	26,98
Krystalová mřížka	Kubická plošně centrovaná
Mřížková konstanta	$a = 4,05 \cdot 10^{-10}$ m
Teplota varu	2494 °C
Tepelná vodivost (při 25 °C)	247 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> (při 25 °C)
Objemová změna při krystalizaci	6.5 %

Hliník tvoří s kyslíkem stabilní oxid Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Oxidická vrstva brání hloubkové oxidaci a zajišťuje velmi dobrou odolnost proti povětrnostním



vlivům. Chemická odolnost ve vodních roztocích velmi závisí na pH elektrolytu. V rozmezí pH 4,5 až 8,5 je tato odolnost výborná, v zásaditém rozmezí jen omezená.

Mechanické vlastnosti čistého hliníku jsou špatné. Pevnost v tahu pod 100 MPa a tvrdost 20 až 30 HB. Plastické vlastnosti jsou velmi dobré. Jako konstrukční materiál je čistý hliník prakticky nepoužitelný, ale legováním se mechanické vlastnosti výrazně zlepšují.

Vysoká měrná tepelná kapacita hliníku  $0,9 \text{ kJ.kg.K}^{-1}$  a vysoké skupenské teplo tání  $396 \text{ kJ.kg}^{-1}$  jsou důsledkem vysoké energetické náročnosti na roztavení hliníkových slitin.

Pro výrobu odlitků se zásadně používají slitiny hliníku, protože vlastnosti čistého hliníku jsou nevyhovující. Pro zlepšení mechanických a technologických vlastností používáme přísadové prvky. Výsledné vlastnosti slitin jsou dány kombinací a množstvím těchto přísadových prvků. Přísadové prvky můžeme rozdělit na hlavní a vedlejší prvky.

Hlavní přísadové prvky jsou rozhodující pro určení vlastností slitiny a se základním prvkem vymezují typ slitiny, zpravidla bývá jejich obsah po základním prvku druhý nejvyšší. Mezi tyto prvky ve slévárenských slitinách hliníku patří měď, hořčík a křemík.

Vedlejší přísadové prvky nejsou do slitiny přidávány záměrně. Dokonce mohou zhoršovat mechanické, technologické nebo chemické vlastnosti slitiny, překročí-li určitou koncentraci, pak je považujeme za nečistoty. Mezi zdroje těchto prvků patří hlavně vsázkové suroviny, z vyzdívky, z tavicích přípravků nebo náradí, z přetavovaného šrotu. Doprovodné prvky jsou považovány za závažný problém, protože jejich odstranění ze slitiny je velmi obtížné a někdy je jejich odstranění téměř nemožné, jejich obsah lze snížit pouze ředěním čistých surovin.





### 2.2.1 Rozdělení slévarenských slitin hliníku

Tyto slitiny mají vyšší obsah přísad než slitiny určené k tváření. Mají velmi dobrou slévatelnost, která umožňuje odlévat i složité a tenkostěnné odlitky. S porovnáním se slitinami pro tváření mají však nižší mechanické vlastnosti, jejichž hodnota je závislá na způsobu odlévání i na druhu slitiny. Mohou se odlévat jak do písku, kovových forem, tak i pod tlakem.

K výhodám slévarenských slitin hliníku patří nízká teplota tání a tím i nízká teplota lití, která činí 680° až 780°C. Jejich další výhodou je malá náchylnost ke vzniku trhlin pod vlivem napětí. Mechanické a slévarenské vlastnosti těchto slitin jsou shrnuty v tab. 2.10 a v tab. 2.11.

Tabulka 2.10 Základní hodnoty vlastností vybraných slitin hliníku

Typ slitiny	Označení slitiny	R <sub>m</sub> [MPa]	Re [MPa]	A [%]
Al-Si	ČSN EN 1706EN AC - 44000	230	100	9,0
Al-Si-Mg	ČSN 42 4331	300	170	2,5
Al-Si-Cu-Mg	ČSN 42 4386	280	240	1,0
Al-Cu-Si	ČSN 42 4339	320	160	2,5
Al-Mg (7,5 až 8,5% Mg)	ČSN 42 44 15	310	190	5,0



Tabulka 2.11 Hodnocení vybraných slitin hliníku

Typ slitiny	Označení slitiny	Náchylnost ke vzniku trhlin za tepla	Korozní odolnost	Mechanická obrobiteľnosť
Al-Si	ČSN EN 1706EN AC - 44000	2	4	3
Al-Si-Mg	ČSN 42 4331	1	2	3
Al-Si-Cu-Mg	ČSN 42 4386	4	3	5
Al-Cu-Si	ČSN 42 4339	3	2	5
Al-Mg (7,5 až 8,5% Mg)	ČSN 42 4415	5	1	1

*poznámka: 1 značí nejlepší ohodnocení a 5 nejhorší ohodnocení.*

#### Slitiny typu Al-Si

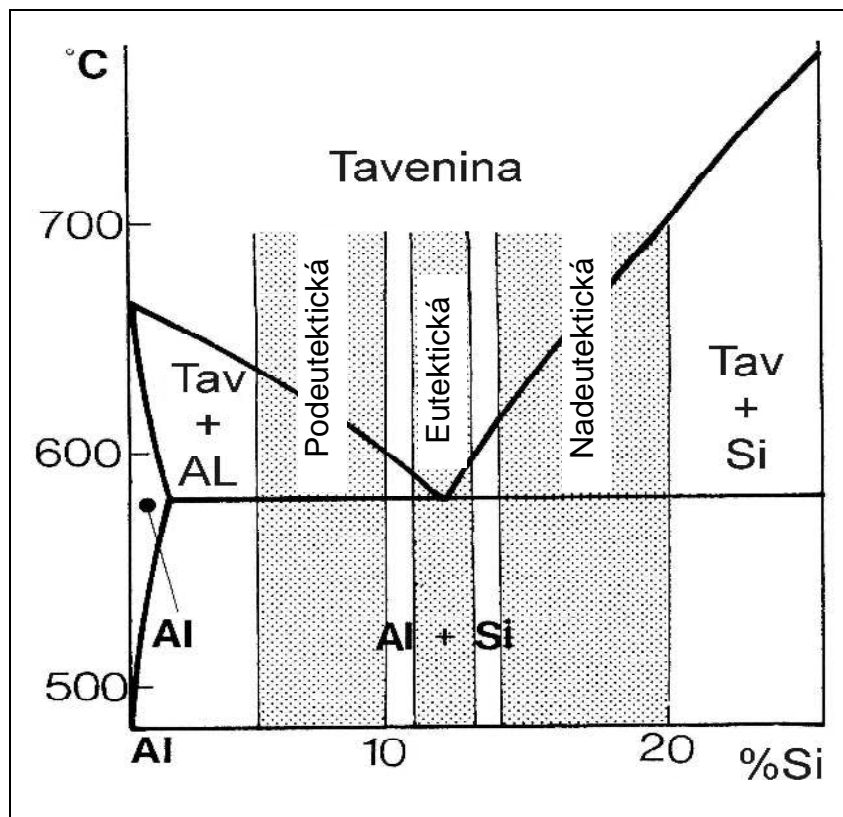
Patří k nejdůležitějším slévarenským slitinám. Na obr. 2.12 je znázorněn fázový diagram Al – Si. Svým názvem patří pod siluminy. Vyznačují se malou hustotou  $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$ , dobrou pevností a houževnatostí. Mají dobrou odolnost proti korozi, dobrou slévatelnost, dobře zabíhají a málo se smršťují (0,40 – 0,6%). Odlitky z těchto slitin nejsou náchylné na praskání.

Podle obsahu křemíku, který je v rozmezí 4,5 – a více % je možné slitiny rozdělit na podeutektické (4,5 až 10% Si), eutektické (10 až 13% Si) a nadeutektické s vyšším obsahem křemíku než je 13%.

Podeutektické slitiny se vyznačují nižší zabíhavostí, jsou vhodné pro lití do písku a pro výrobu tvarově jednoduchých odlitků.

Slitiny eutektického složení dobře vyplňují dutinu formy, málo se smršťují, mají velmi dobrou zabíhavost a malou náchylnost ke tvorbě trhlin za tepla. Používají se pro lití do kokil nebo pod tlakem. Jsou vhodné pro výrobu tenkostěnných tvarově náročných odlitků.

Nadeutektické slitiny se vyznačují velmi nízkým součinitelem roztažnosti, což je výhodné pro odlitky pracující za zvýšených teplot (písty spalovacích motorů). Pro zlepšení mechanických vlastností, jako je tažnost a také pro zlepšení slévarenských vlastností, se musí provádět modifikace a očkování.



Obr. 2.12 Rovnovážný diagram Al-Si

#### Slitiny typu Al-Si-Mg

Po precipitačním vytvrzení mají velmi dobré mechanické vlastnosti. Hodí se pro výrobu složitých a velkých odlitků. Odlitky jsou dobře obrobitelné a jejich tavná svařitelnost je dobrá.

Nejpoužívanějším představitelem je slitina AlSi10Mg. Jedná se o eutektickou slitinu s obsahem křemíku 9 až 10% a má nejlepší zabíhavost. Je velmi odolná proti korozi. Má vysokou tvrdost a velkou pevnost v zakaleném stavu. Vyznačuje se také dobrou chemickou odolností a odolností proti vzniku trhlin a dobrou obrobitelností. Používá se hlavně



v automobilovém a leteckém průmyslu. Lze ji tepelně zpracovávat precipitačním vytvrzováním.

#### Slitiny typu Al-Si-Cu-Mg

Jedná se o slitiny s vynikající otěruvzdorností, malou teplotní roztažností, vysokou tepelnou vodivostí, dobrými mechanickými vlastnostmi za zvýšených teplot a velmi dobrou slévateľností. Oproti těmto uvedeným kladným vlastnostem však mají nízkou odolnost vůči korozi, nízké plastické vlastnosti a špatnou mechanickou obrobiteľnost. Používají se pro odlitky u kterých se žádá vysoká otěruvzdornost.

#### Slitiny typu Al-Cu-Si

Mají dobrou odolnost proti opotřebení s vyšší tvrdostí a jsou v hodné pro odlitky rozmanitých tvarů u kterých se tyto vlastnosti mohou uplatnit.

Jedná se o nejvíce aplikované slitiny pro tlakové lití. Označovány jsou jako slitiny „pro všechny účely“. Mají velmi dobrou slévateľnost a dobré mechanické vlastnosti, ale mají malou odolnost vůči korozi.

#### Slitiny typu Al-Mg

Obsahují obyčejně hořčík jako hlavní legující prvek v rozsahu 9 až 12%. Škodlivost železa se eliminuje dodáním manganu v rozsahu 0,3 až 0,8%, který současně zvyšuje pevnostní vlastnosti a odolnost proti korozi. Mez pevnosti se pohybuje v rozmezí 150-280 MPa, tažnost 1-9% a tvrdost 60-80 HB.

Jsou určeny hlavně do korozního prostředí jako je přímořská atmosféra, mořská voda, činidla v chemickém nebo potravinářském průmyslu. Tento typ slitin se také hodně používá jako dekorativní slitina ve stavebnictví a architektuře. Vzhledem k tomu, že jsou kladeny vysoké nároky na korozní odolnost, musí slitiny vykazovat vysokou čistotu, protože už malá množství mědi mohou korozivzdornost ohrozit. Mezi jejich výhodné vlastnosti patří dobrá obrobiteľnost a snadná leštitelnost povrchu, čímž se dosáhneme atraktivního vzhledu, který lze využít při eloxování (anodická úprava) a barvení. Nevýhodou je, že jejich slévateľnost se zhoršuje s rostoucím



obsahem hořčíku, i když přidáme křemík, který působí v tomto směru kladně. Další nevýhodou je sklon k výskytu zavalenin a vad typu dutin. Oxidace Mg během tavení se řeší přidáním Be nebo Ca.

Slitiny typu Al-Mg-Si jsou to slitiny, ve kterých kromě hořčíku bývá vždy ještě malé množství manganu, železa, popř. mědi. Obsah hořčíku se pohybuje v rozmezí od 0,4 do 1,2%. Mangan již v malém množství, přibližně do 0,3%, zvyšuje mírně pevnost slitiny, při větším množství naopak pevnost slitiny snižuje.

## **2.3 Metalurgická příprava taveniny ze slitin hliníku pro nízkotlaké lití**

Cílem tavícího procesu je natavení slitiny s požadovanou kvalitou za co nejnižších nákladů. O kvalitě kovu rozhodují nejvíce vsázkové suroviny, způsob lití, metalurgické zpracování taveniny, způsob metalurgického procesu, konstrukce a typ tavících a udržovacích pecí. Kvalitní tavenina má mít požadované chemické složení, obsah oxidických a neoxidických vměstků by měl být co nejnižší a má mít nízké naplynění.

### **2.3.1 Technologický postup přípravy taveniny hliníku**

Během přípravy taveniny se musí věnovat patřičná pozornost při dodržování technologického postupu, protože jakékoliv porušení postupu se projeví ve zmetkovitosti odlitků ve slévárně, ale i při mechanickém opracování hrubého odlitku. Každá slévárna má jiné podmínky a tak si technologický postup přípravy taveniny upřesní podle svých místních podmínek.

Obecně se postupuje tak, že se nejprve připraví tavící zařízení. Když dojde k vyprázdnění pece, musí se důkladně vyčistit její stěny, dna a kanály. Je důležité, aby byly odstraněny všechny nečistoty a oxidy typu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Vypouštěcí kanálky popř. hubice se po očištění natrou ochrannými a izolačními nátěry.



Potom se začnou vkládat do tavicí pece vsázkové suroviny (housky), popř. vratný materiál což jsou vtoky, zmetky, nálitky. Materiály v tavicí peci musí být uloženy volně, protože při těsném uložení může dojít v důsledku vyšších hodnot součinitele tepelné roztažnosti kovových materiálů i k porušení (prasknutí) kelímku.

Materiál vsázený do pece musí být suchý, zbaven mastnoty a všech kovových i nekovových nečistot.

Z hlediska chemického složení musí být použita předepsaná slitina, která je určena pro odlévání. Pokud se používá vratný materiál je třeba sledovat jeho kvalitu. Množství vratného materiálu by se mělo pohybovat k novému (housky) v poměru 40:60.

Housky viz obr. 2.13 jsou nejkvalitnějším materiálem dodávaným z hutí. Mají nízký obsah nečistot, rozpuštěných plynů a garantované chemické složení, jsou ale nejdražšími vsázkovými surovinami. Housky vyráběné z nejrozličnějších zdrojů a surovin různorodého složení obsahují větší množství nečistot a přísadových prvků, slitina se potom rafinuje a odlévá do housek.



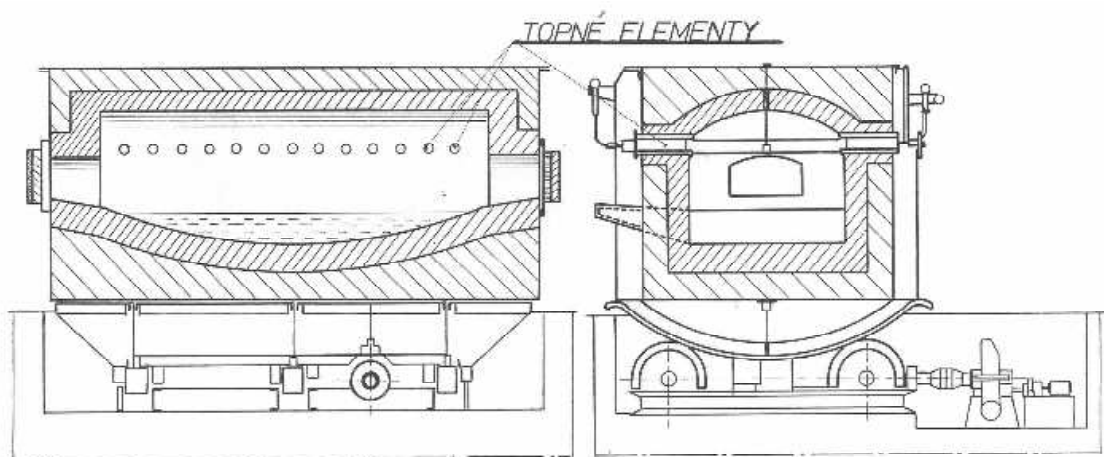
Obr. 2.13 Housky ze slitin hliníku

Hliníkový šrot tvořený třískami a vyřazenými součástkami nebývá pro výrobu odlitků vhodný. Obsahuje velké množství oxidických vměstků, přináší

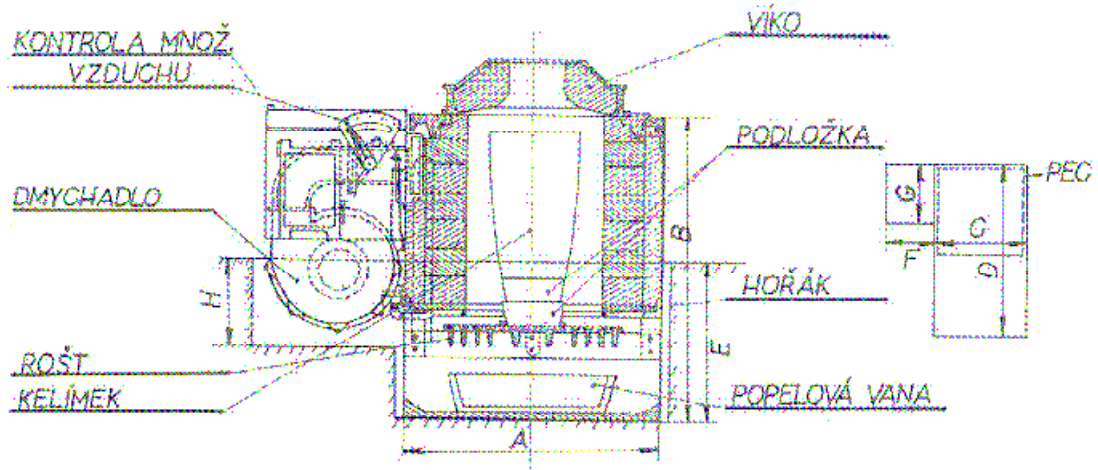
do vsázky vodu. Často bývá znečištěn oleji a dalšími nepřípustnými látkami. Vzhledem k tomu, že nebývá známé jeho přesné chemické složení je nejméně kvalitní vsázkovou surovinou. Nepoužívá se pro výrobu kvalitních odlitků.

### 2.3.2 Děje probíhající během tavení

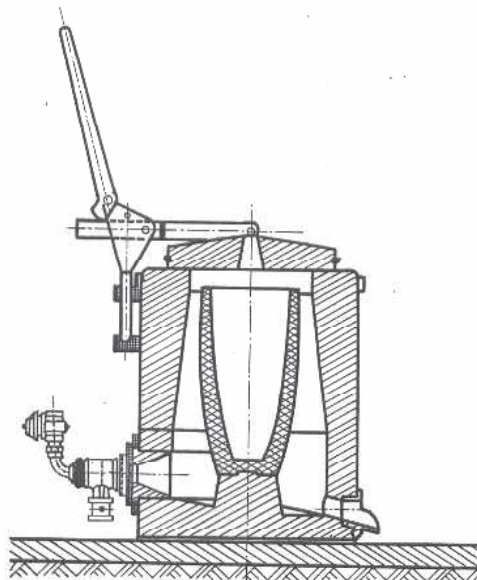
Tavení má probíhat intenzivně, s maximální energetickou účinností použitého tavicího agregátu a minimálními ztrátami energie do okolí. Zdrojem energie pro tavení hliníkových slitin je elektrická energie nebo spalování pevných, kapalných nebo plyných paliv. Rozlišujeme pece elektrické viz obr. 2.14 a pece palivové, obr. 2.15 a obr. 2.16. Třetí samostatnou skupinu mohou tvořit pece, které využívají jiný typ energie.



Obr. 2.14 Schematický řez elektrickou odporovou nístějovou pecí



Obr. 2.15 Palivová kelímková pec na tuhá paliva



Obr. 3.16 Palivová kelímková pec na plynná paliva

Tavenina působí na vyzdívku svým metalostatickým tlakem, může dojít k propíjení (penetraci) taveniny na základě dobrého smáčení vyzdívky do určité hloubky vyzdívky. Proto se provádí tzv. impregnace vyzdívky při jejím vyhotovení. Jelikož na kvalitě vyzdívky závisí celkové tepelné ztráty při tavení, používají se v současné době pro tavicí i žíhací pece ve slévárnách vysoce kvalitní keramické vláknité materiály s nízkými hodnotami tepelné vodivosti.

Mezi děje probíhající během tavení se řadí fyzikální, fyzikálně-chemické a chemické děje.





Fyzikální děje při tavení probíhají mezi teplotami 760 až 780 °C, spočívají v dodání potřebné energie tak, aby byla dosažena teplota přehřátí roztavené slitiny.

Teoretické množství tepelné energie potřebné k dosažení teploty přehřátí daného kovu je dáno vztahem:

$$Q = m \cdot [c_L \cdot (T_l - T_{kr}) + L_{kr} + c_S \cdot (T_{kr} - T_{ok})] \quad [J] \quad (5)$$

kde značí:  $m$  – hmotnost taveného materiálu [kg],

$c_S$  – měrnou tepelnou kapacitu pro tuhý stav [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ],

$T_{kr}$  – teplotu krystalizace [°C],

$T_{ok}$  – teplotu okolí [°C],

$L_{kr}$  – skupenské teplo tání (tuhnutí) [ $J \cdot kg^{-1}$ ],

$c_L$  – měrnou tepelnou kapacitu pro kapalný stav [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ],

$T_L$  – teplotu lití [°C].

Během tavení probíhají fyzikální a fyzikálně – chemické děje. Během fyzikálně chemických dějů vznikají interakce mezi tuhousázkou, taveninou a prostředím tavící pece.

Interakce tuhé vsázky nastává tehdy, chceme-li k tavenině kovových materiálů nebo taviv v peci přidávat další podíly tuhé vsázky. Musí se dbát na to, aby vsázený materiál byl pečlivě předeřhřátý a přidáván po malých dávkách. Protože i velmi malé množství vlhkosti může způsobit její prudkou přeměnu v páru s následným mechanickým vyšpláchnutím taveniny, což může být velmi nebezpečné pro obsluhu.

V první etapě tavení je velmi malá fyzikálně – chemická interakce. Jedná se vlastně o mechanické poškození vyzdívky nebo kelímku v peci, ke kterému dochází při těsném kontaktu vsázky s kelímkem. Součinitel tepelné roztažnosti vsázky je větší než u grafitošamotového kelímku. Rozhodující význam pro dosažení konečné vysoké kvality připravované roztavené slitiny mají fyzikálně chemické pochody mezi roztavenou vsázkou a plynnou atmosférou v tavícím prostoru pece, kdy všechny vzájemné reakce probíhají



s velkou intenzitou. Dochází ke zvyšování rozpustnosti plynů, ke zvýšenému stupni oxidace (propalu), v určitých případech k vypařování některých legujících prvků, ke snižování počtu potencionálních zárodků krystalizace, a tím ke zvětšování zrna a odlitků v případech, kdy nedojde k záměrnému ovlivňování primární lící struktury.

K chemickým dějům při tavení lze řadit reakci tuhé vsázky, která relativně pomalu reaguje s plynným prostředím v tavícím agregátu. Povrch vsázky je obvykle pokryt povrchovou vrstvou chemických sloučenin, které se vytvářejí při styku s ovzduším. Není to však jediná reakce, ke které dochází v tavícím agregátu. Jednou z nejdůležitějších je zejména reakce s kyslíkem. Většinou se vrstva na povrchu roztaví později než vlastní houska kovu, proto je nutné tyto nečistoty odstranit po úplném roztavení.

U hliníku a jeho slitin platí, že hliník téměř nerozpouští kyslík, takže vzájemná interakce mezi hliníkem a kyslíkem probíhá především na povrchu tuhého nebo kapalného hliníku. Výsledkem této interakce je tvorba oxidu hlinitého, který může mít více modifikací. V podmínkách běžného tavení se tvoří gama modifikace, která se při teplotách okolo 700 °C začíná měnit na alfa modifikaci. Úplná přeměna nastává při teplotách okolo 1 000 °C. V průběhu této přeměny klesá pevnost oxidické vrstvy, a tím i její ochranný účinek, takže může docházet ke zvýšení intenzity oxidace a také ke zvýšení obsahu vodíku.

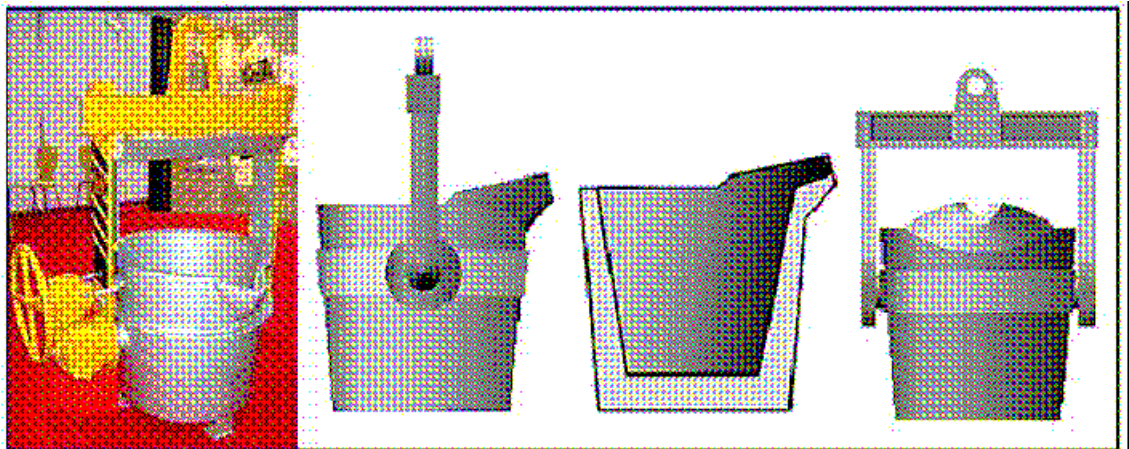
Úprava chemického složení se provádí jen u jednotlivých prvků a ta se uskutečňuje až po roztavení vsázky a po chemické analýze. U hořčíku je nutné doplňovat ztrátu propalem. Potřebujeme-li snížit obsah některého prvku, naředíme taveninu surovinou s nízkým obsahem příslušného prvku.

Nejdůležitějšími pochody při tavení kovů a slitin jsou pochody oxidace, desoxidace, naplynění, odplynění, vypařování komponent vsázky a v konečné fázi přípravy slitin k odlévání také legováním taveniny na požadované chemické složení vhodnými kovy, feroslitinami nebo předslitinami. Patří sem i očkování, modifikace a rafinace jako konečné operace zajišťující vysokou metalurgickou kvalitu připravovaných kovových materiálů.



Po přelití taveniny do rozvážecího kelímku, viz obr. 2.17, ve kterém se provádí rafinace a po ošetření a odstátí se z povrchu taveniny stáhnou stěry sběrnou lžící a napájecí systém tavící pece se přepne na udržovací režim. Odeberou se vzorky pro kontrolu chemického složení a mechanických vlastností.

U všech operací se provádí kontrola teploty a o všech předepsaných parametrech se vedou záznamy. Technologický postup musí popisovat detailně všechny úkony, aby jakákoliv kontrola byla schopna zjistit chybu.



Obr. 2.17 Převážní kelímek pro odlévání roztaveného kovu

## 2.4 Čištění a úprava taveniny hliníku

Čištění taveniny se provádí z důvodu snížení výskytu vad v odlitcích, které mohou vznikat během metalurgie a odlévání odlitků. Mezi čištění taveniny patří rafinace, která vede ke snížení výskytu oxidů a vměstků v tavenině a odplynění, které zbavuje taveninu nežádoucího vodíku.

Úpravou taveniny se má na mysli úprava struktury jako např. zjemnění tuhého roztoku hliníku, jehož důsledkem je zlepšení mechanických vlastností. Tento proces nazýváme očkování. Další úprava vede ke změně eutektické struktury na lamelární (vláknitou), čímž se dosáhne zvýšení houževnatosti, pevnosti v tahu a tažnosti.



### 2.4.1 Odplyňování taveniny

V tavenině v závislosti na teplotě se obsah vodíku pohybuje v intervalu od 0,2 do 0,9 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> / 100g (1cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> / 100g = 0,9 ppm). Obsah vodíku se před litím musí snížit pod 0,2 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> / 100g, záleží na použité technologii, aby nedocházelo ke vzniku vodíkových bublin v odlitcích. Rozlišujeme dva postupy odplyňování taveniny a sice chemické a fyzikální, lze sem zařadit i odplynění snížením tlaku nad hladinou taveniny. Mezi chemické postupy patří odplynění plynným chlórem a nebo pevnými sloučeninami, které za vyšších teplot chlór uvolňují. Mezi fyzikální postupy patří zpracování taveniny inertními plyny (dusík, argon).

Chemické odplynění taveniny je založeno na reakci plynného chlóru s hliníkem:



a na následné reakci chloridu hlinitého s vodíkem:



Z taveniny se do atmosféry uvolňuje kyselina chlorovodíková a zbytky nezreagovaného chloridu hlinitého.

Dříve používaný plynný chlór jedovatý, byl nahrazen preparáty s různým množstvím hexachlorethanu, který se za vyšších teplot rozkládá a uvolňuje chlor. Ale i to je dnes výjimečné. Při tomto způsobu použití je odplynění závislé na dodržení předepsaných postupů a předepsaném skladování.

K chemickému odplyňování se používá zvon, který je opatřen otvory. Ten musí zaručit rovnoměrné rozdělení vnikajících bublin chloru v objemu taveniny. U slitin obsahujících hořčík nebo slitin modifikovaných je nutné pamatovat na to, že chlor přednostně reaguje s oběma prvky a snižuje jejich obsah v tavenině. Ztráty obsahu hořčíku je nutné nahradit dolegováním a modifikaci opakovat.

Fyzikální postup odplynění inertními plyny je založen na vyrovnání rozdílů koncentrace vodíku (parciálního tlaku) v bublinách těchto plynů a



koncentrace vodíku v tavenině během probublávání taveniny těmito plyny. Postup je založen na možnosti difúze v tavenině rozpuštěného vodíku do bublin použitého plynu. Plyn je přiveden na dno pece a volně stoupá vzhůru. Proces odstraňování začíná transportem (difúze a konvekce) vodíku v tavenině do blízkosti bubliny. Dále můžeme tento proces rozdělit na následující pochody:

- a) difúze vodíku tenkou, nepohyblivou hraniční vrstvou, která obklopuje bublinu,
- b) chemická absorpce na povrchu bubliny a následující desorpce,
- c) difúze vodíku jako plynu uvnitř bubliny,
- d) uvolnění vodíku z bubliny při jejím opuštění taveniny.

Na základě experimentů je známo, že snížení účinnosti odplynění zapříčiňují děje a) a b). Z toho plyne, že účinnost ovlivní množství bublin v tavenině, plocha (velikost bubliny), kterou může vodík difundovat a doba pobytu bubliny v tavenině. Malé bubliny s relativně velkým povrchem stoupají pomalu k povrchu taveniny a mají nejlepší účinnost.

K odplyňování inertním plynem se používá odplyňovací trubice, která je ukončena porézní zátkou na rotoru. Při použití otevřené trubice mají bubliny tvar kapek o průměru několika centimetrů. Jsou v tavenině rozděleny nerovnoměrně a velmi rychle stoupají k povrchu, tím je odplynění neúčinné. Použitím porézní zátky dostáváme bubliny menší, ty však stoupají z trubice nárazově a často dochází k jejich spojování (nerovnoměrné rozložení). Nejlepších výsledků je dosaženo s rotorem, který pracuje na principu rotačního čerpadla. Bubliny jsou nejmenší, jsou rovnoměrně rozděleny v tavenině a plynule stoupají ode dna vzhůru. Doba odplynění se pohybuje v rozmezí 5 až 10 minut. Odplynění se také může provádět metodou snížení tlaku nad hladinou taveniny.

Účinek vodíkových bublin na mechanické vlastnosti odlitků je podobný jako účinek oxidů, stejně tak i způsob naplynění a preventivní opatření jsou stejná. Lze zakoupit provozní zařízení na měření obsahu vodíku, které



pracuje na různých principech např. zařízení využívající porovnání hustot vzorků ztuhlých za podtlaku. Perspektivní je odplynění za sníženého tlaku a současného probublávání taveniny dusíkem v peci nebo v transportní pánvi.

Příklad zařízení na odplynění je např. komerční zařízení LASER, viz obr. 2.18. V příloze č. 1 jsou uvedeny technické údaje a v příloze č. 2 jeho aplikace.

Toto zařízení zajišťuje všechny metalurgické úpravy nezbytné pro slitiny hliníku před odlévání. Zařízení kombinuje úpravy taveniny plynem a solí k zajištění odplynění, modifikace, rafinace a struskování zvlášť. K dávkování solí do taveniny slouží vysocerychlostní keramický talíř. Dále je možno vhánět do taveniny plyny popř. aktivní směsí  $CL_2/N_2$ . Vysoká účinnost odstraňování nečistot je zajištěna jak dostatečnou velikostí bublin, tak rozmístěním dávkovaného plynu.



Obr. 2.18 Zařízení pro odplyňování (označeno LASER)

K výhodám tohoto zařízení patří automaticky prováděné a programovatelné metalurgické úpravy, vysoká kvalita metalurgických výsledků, velmi vysoká účinnost odplynění, automatické dávkování chemických přípravků, modifikačních, struskotvorných solí, apod.,



homogenní a opakovatelná úprava, eliminace chyb způsobených při ruční manipulaci, zkrácená doba cyklu, zvýšení ekonomičnosti výroby úsporou nákladů na tavení, chemické přípravky, nižší náklady na odplynění a nižší ztráty kovu.

#### **2.4.2 Rafinace taveniny**

Rafinace tavenin (čištění taveniny pomocí solí) je jeden z nejstarších a nejpoužívanějších způsobů při čištění a ošetřování tavenin slitin hliníku. Základní složku rafinačních solí tvoří hlavně chloridy a fluoridy alkalických kovů popř. kryolit. Složení solí závisí na použití a na výrobci. K vlastnostem solí patří nerozpustnost v hliníku, nízká viskozita, nižší teplota tání než je teplota tavení slitiny, nízká tenze par za pracovních teplot, menší hustota než hliník, má mít schopnost srážet oxidy a ostatní nekovové vměstky a nesmí napadat vyzdívku a kelímek. Soli se musí skladovat na suchém místě, protože často obsahují hygroskopické sloučeniny. Před použitím je nutné sůl vysušit při teplotě asi 250 °C. Použijeme-li vlhkou sůl hrozí kromě znehodnocení taveniny i výbuch.

Rozlišujeme tři základní typy solí podle použití:

- a) čistící, jejichž účelem je srážení a odstranění oxidů a vměstků z povrchu taveniny,
- b) čistící, jejichž účelem je odstranění oxidů a vměstků rozptýlených uvnitř taveniny (čištění je vždy spojeno s odplyněním),
- c) krycí, které chrání povrch taveniny před oxidací.

#### **Soli čistící povrchu taveniny**

Hlavním účelem rafinace s použitím solí pro odstranění oxidů a nekovových vměstků z povrchu taveniny a jejich převedení do stěrů s minimální ztrátou. Sůl se rovnoměrně rozptýlí po hladině taveniny tak, aby vytvořila souvislou vrstvu a opatrně se zamíchá do povrchové vrstvy taveniny. Výrobce určuje dávkování taveniny a její teplotu při použití solí.



Většina vyvolává exotermickou reakci. Teplo vzniklé během exotermické reakce uvolní kov zachycený ve stěrech (ty obsahují 60 – 85% kovu, který vyteče zpět do taveniny vrací se až 50% kovu, zbytek zoxiduje). Po ukončení reakce se suchá struska s nízkým obsahem kovu dokonale odstraní z povrchu taveniny.

Rafinace pomocí čistících soli k odstranění oxidů z taveniny

Toto čištění se používá pro odstranění nekovových vměstků a oxidů rozptýlených uvnitř taveniny. Oxidy hliníku mají prakticky stejnou hustotu jako tavenina hliníku, proto se vznášejí v tavenině a jejich odstranění je velmi obtížné. Čistící účinek spočívá v tom, že složky soli reagují s mikroskopickými částicemi oxidu hliníku na komplexní sloučeniny (fluorokomplexy). Reakcí se zvyšuje smáčivost oxidů a usnadňuje se jejich vyplouvání na povrch. Lehčí částičky solí strhávají a vynášejí oxidy na povrch taveniny a převádí je do stěrů.

Rafinace pomocí krycích solí je založena na zabránění tvorby oxidů a naplynění taveniny během tavení a udržování teploty. Tento úkol, ale nemůže být splněn, protože je velmi obtížné a téměř zcela nemožné zaručit souvislou vrstvu soli na povrchu taveniny. Tavenina je v tavících pecích v neustálém pohybu a každé porušení povrchové vrstvy, byť pokryté solí nebo bez ní, znamená vznik dalších oxidů. Navíc vrstva solí ztěžuje u vanových tavících pecí přestup tepla do taveniny a zbytečně nutí zvyšovat výkony hořáků. Hladina je neustále porušována u udržovacích pecí při nabírání kovu a krycí sůl se může zamíchat do taveniny a tím se zvyšuje pravděpodobnost výskytu vměstků v odlitcích. Proto není nutné u hliníkových slitin, které vytváří kompaktní vrstvu oxidů jako např. AlSi, tento typ solí používat. Většinou stačí vyčištění hladiny taveniny a odstranění nahromaděných oxidů v tavících pecích po skončení tavení, po přelití do přepravního kelímku, v udržovacích pecích po dolití taveniny z pánve nebo během pravidelného čištění povrchu taveniny. Slitiny typu AlMg s více než 3 – 4% Mg se musí chránit během tavení i lití speciálními solemi, které zabraňují vyhořívání hořčíku, tvorbě oxidů a nitridů.





Výrobce těchto solí určuje množství a teplotu pro jejich použití. Proces probíhá tak, že se obvyklé množství soli, které činní zhruba 0,5 až 1%, po natavení ponoří zvonem pod hladinu a intenzivně vmíchá do celého objemu taveniny. Kvalita je závislá na zkušenostech pracovníka a na pečlivosti provedení úkonu. Potom se tavenina odstaví, pro pánev je to po dobu 5 až 10 minut, pro tavící pec 1 až 2 hodiny.

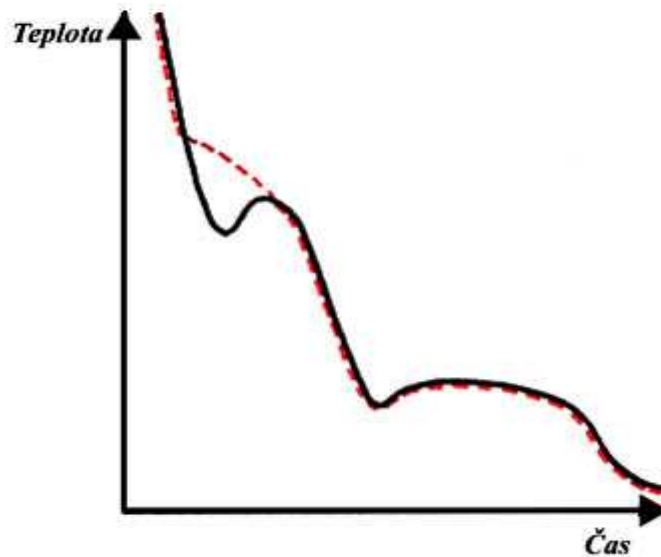
Soli, které k rafinaci používají fluoridy jsou z ekologického hlediska nevhodné. Fluoridy jsou jedovaté a také rozpustné ve vodě. Proto byly vypracovány a stále se rozšiřují postupy čištění bez použití solí. Proto jsou stále preferovány rafinační metody bez použití solí.

### **2.4.3 Očkování taveniny**

Očkování je postup zajišťující zjemnění tuhého roztoku hliníku. Je známo, že čím je struktura odlitku jemnější, tím jsou jeho mechanické vlastnosti lepší. Jemnější struktury lze dosáhnout buď rychlejším ochlazováním taveniny nebo změnou podmínek krystalizace tuhého roztoku hliníku. Tímto způsobem současně dojde k ovlivnění slévárenských vlastností, výskytu a rozložení slévárenských vad.

Očkováním se dosahuje zvýšení počtu krystalizačních zárodků tuhého roztoku hliníku v důsledku vnášení heterogenních zárodků do taveniny.

Při procesu očkování dochází v důsledku přidání krystalizačních zárodků jednak ke zvýšení rovnovážné teploty likvidu, ale také díky přítomnosti velkého množství krystalizačních zárodků není na křivkách ochlazování patrné měřitelné nukleační podchlazení před primární krystalizací obr. 2.19. Proces očkování nemá vliv na teplotu krystalizace binárního eutektika.



Obr. 2.19 Vliv procesu očkování na křivku ochlazování  
(černě neočkováná slitina, červeně očkováná)

Při ochlazování taveniny slouží tyto zárodky jako iniciační centra růstu krystalů tuhého roztoku hliníku. Výsledkem je zjemnění zrna primárního tuhého roztoku hliníku popř. křemíku, čímž se dosáhne nejen významného zlepšení mechanických vlastností a houževnatosti slitiny, ale i zlepšení slévárenských vlastností, např. dosazování. Očkování se významně uplatňuje u slévárenských slitin kde ve struktuře převažuje podíl dendritů nebo krystalů primární fáze nad podílem eutektika. Výsledkem je zjemnění struktury z hrubě zrnité na jemně zrnitou, viz obr. 2.20.

Očkovací činidla musí splňovat několik předpokladů. Musí zajišťovat malý kontaktní úhel (vysokou smáčivost) mezi zárodkem a rostoucí tuhou fází a musí být v tavenině maximálně stabilní. Přesto se vhodná očkovadla často volí empiricky. Po přidání očkovadla do taveniny je nutná určitá doba, než se získá nejjemnější zrno. Tato doba se nazývá doba kontaktu.

Pro slévárenské slitiny se používá titan a bór, pro tvářené slitiny zirkonium. Titan vytváří s hliníkem rozpustnou intermetalickou fázi  $\text{TiAl}_3$  a bor nerozpustnou fázi  $\text{TiB}_2$ . Tyto sloučeniny působí jako heterogenní krystalizační zárodky tuhého roztoku hliníku.

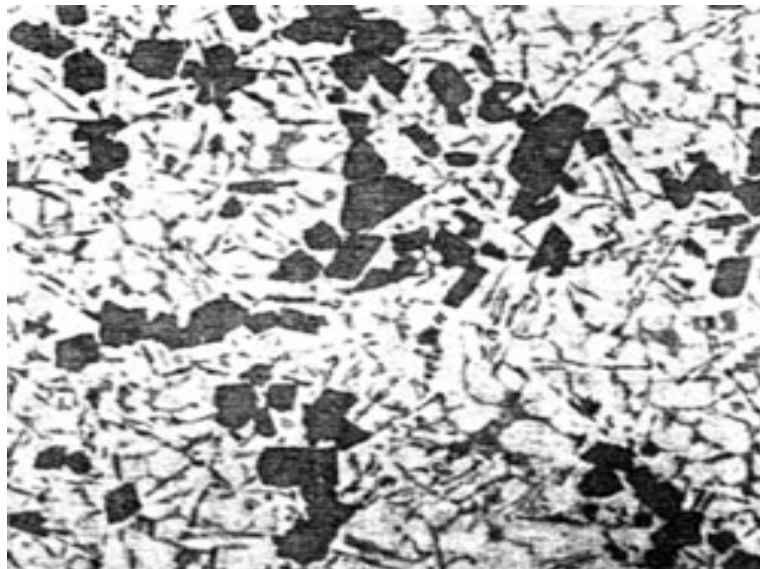
Očkují se podeutektické slitiny typu  $\text{AlSi}$  až s obsahem 7% Si, slitiny typu  $\text{AlCu(Ti)}$  a  $\text{AlMg}$ .



Leptáno 0,5% HF

Neočkováno

100x



Leptáno 0,5% HF

Neočkováno

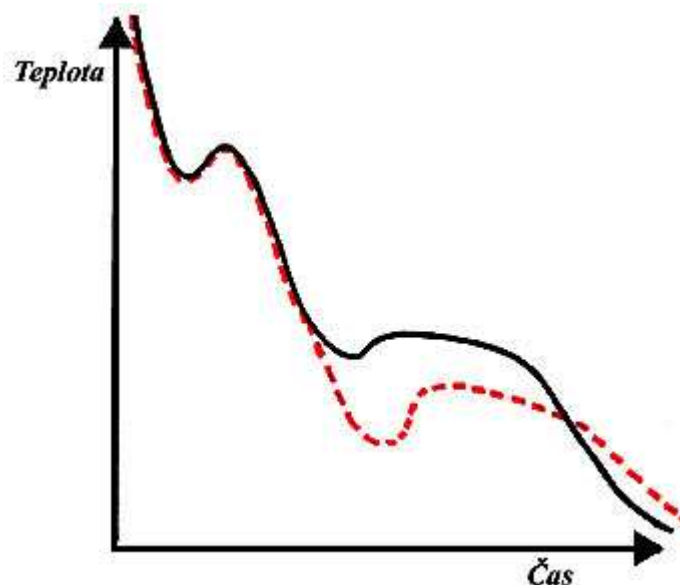
100x

Obr.2.20 Vliv očkovaní na strukturu slitiny AlSi17

#### 2.4.4 Modifikace taveniny

Modifikování Al-Si slitin je metalurgická operace, při které dochází z hlediska mechanických vlastností k příznivé změně morfologie eutektického křemíku po přidavku některých prvků. Při modifikaci dochází k ovlivnění eutektické krystalizace. U slitin Al-Si je to ovlivnění především vylučování eutektického křemíku. Na obr. 2.21 je ukázka důsledku modifikace – při

eutektické teplotě vzniká podchlazení, depresi (pokles) teploty krystalizace eutektika až o 12°C proti nemodifikované tavenině.



Obr. 2.21 Vliv procesu modifikování na křivku ochlazování  
(černě nemodifikovaná slitina, červeně modifikovaná)

Docílí se významného zvýšení zejména houževnatosti, pevnosti v tahu a tažnosti slitiny. Dochází k převedení zrnité eutektické struktury na strukturu lamelární nebo ještě lépe na jemně vláknitou, viz obr. 2.22. Modifikační efekt je založen na faktech, že modifikační činidlo potlačuje nukleaci křemíku na zárodcích ve slitině do jisté míry vždy přítomných, takže růst je zahájen při nižší teplotě. Modifikační činidlo je povrchově aktivní prvek, který se přednostně absorbuje na krystalografických plochách Si, které jsou pro růst krystalů nejvýhodnější. V případě modifikování se tedy na rozdíl od očkování nejedná o změnu počtu zárodků, ale pouze o změnu tvaru a rychlosti růstu krystalů eutektického křemíku. Prvky s modifikačním účinkem jsou např. Na, Sr, Ca, Sb, K a S, stroncium.

Modifikační účinek stroncia trvá 3 až 6 hodin a zůstává zachován i po přetavení. Ale modifikační účinek je menší než u sodíku. Proto je stroncium používáno především pro modifikaci tenkostěnných odlitků s vyššími rychlostmi ochlazování. Nejvíce se tato modifikace využívá pro poduetektické slitiny jako je např. slitina AlSi7. Množství stroncia se pohybuje v rozmezí



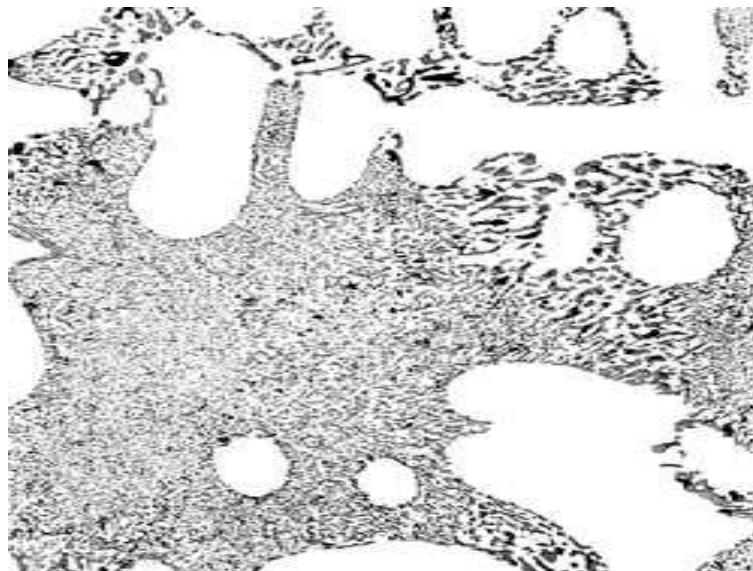
150 až 200 ppm. Stroncium se přidává do taveniny ve formě předslitin jako drát nebo tyčinka AlSr10. Při modifikaci stronciem je důležité dodržet teplotu modifikace a po modifikaci stronciem je důležité dodržet minimálně 10 minutovou prodlevu. Dále je nutné přihlížet k tomu, že stroncium zvyšuje sklon taveniny k naplynění.



Leptáno 0,5% HF

Nemodifikováno

100x



Leptáno 0,5% HF

Modifikováno

100x

Obr. 2.22 Vliv modifikování (Na) na strukturu slitiny AlSi10



Vedle odplyňování, rafinace, očkování a modifikace je třeba dbát na správnou teplotu přehřátí a lití.

## **2.5. Vady odlitků ze slitin hliníku**

Vadou odlitku se má na mysli jakákoliv odchylka od vlastností sjednaných nebo předepsaných technickými normami a technickými podmínkami. Jedná se o odchylky rozměru, tvaru, celistvosti, vzhledu, hmotnost, makrostruktury, mikrostruktury. Z hlediska výroby můžeme odlitky dělit na odlitky dobré, opravitelné a neopravitelné.

Tvorba vad závisí především na specifických fyzikálně metalurgických vlastnostech kovů a slitin, ze kterých jsou odlitky vyráběny a charakteru použité technologie. Fyzikálně-metalurgické parametry (teplota likvidu a solidu, krystalická stavba, měrná tepelná kapacita, tepelná vodivost, měrná hmotnost, alotropie) slitin jsou pevně dány. K posouzení jakosti odlitků rovněž slouží rozbor struktury, mechanických a fyzikálních vlastností odlitku a znalost chemických reakcí na hranici forma-kov.

Vzhledem k odlišnostem v chemickém složení bude i tvorba struktury a tedy i vady makro a mikrostruktury u hliníkových slitin zcela specifická. Například jeho vysoká afinita ke kyslíku v tekutém i tuhém stavu a s tím spojená intenzivní a rychlá tvorba oxidů. K nejčastějším vadám s kterými se slévárny slitin hliníku setkávají patří nekovové vměstky – oxidické blány.

### **2.5.1 Nekovové vměstky**

Mezi nekovové vměstky patří částice, které se vyskytují v objemu ztuhlého kovu. Narušují souvislost kovové matrice a snižují mechanické vlastnosti slitiny a zároveň zhoršují chemickou odolnost, slévárenské vlastnosti, těsnost, obrobitelnost, možnost povrchové úpravy. Nekovové vměstky můžeme rozdělit podle chemického složení na oxidické a neoxidické. Vliv vměstků je dán především jejich chemickým složením a morfologií. Většina vměstků má vysokou tvrdost. Druhy nekovových vměstků jsou shrnuty v tab. 2.23.



Tabulka 2.23 Přehled základních druhů nekovových vměstků

Druh vměstku	Charakteristika	Původ
Tvrdé fáze	Tvrdé, krystalické	Nízká teplota
Korund	Tvrdé, krystalické	Vyzdívka pece
Fluoridy	Korozivní	Sole
Chloridy	Korozivní	Sole
Oxid hliníku	Měkký, povlak, amorfní	Oxidace povrchu
SiC	Tvrdé, krystalické	Kelímky
Spinely	Tvrdé, krystalické	Oxidace slitin AlMg

Tyto vměstky mohou být:

- velké, makroskopické vměstky kompaktního tvaru,
- jemné, mikroskopické částice rozložené místně nebo rovnoměrně, v objemu kovu
- oxidické blány.

Podle způsobu jejich vzniku se vměstky dělí na:

a) *Exogenní vměstky*, které se do taveniny dostávají z jejího okolí během tavení a odlévání. Jsou to hlavně částice žáruvzdorných materiálů z vyzdívky tavících pecí nebo licích pánví. Jejich velikost se pohybuje od 1  $\mu\text{m}$  do několika milimetrů. Z chemického hlediska se jedná o křemičitany, hlinitany nebo o karbid křemíku.

b) *Endogenní vměstky* vznikají oxidací hliníku a dalších prvků, chemickými reakcemi mezi jednotlivými prvky v tavenině. Druhy endogenních vměstků a jejich původ je seřazen v tab. 2.24. Nebo může jít o zbytky solí, které byly použity k metalurgickým účelům a jejich reakčních produktů. Tyto vměstky se vyskytují v roztaveném kovu v tekutém nebo tuhém stavu, mají podobu shluků, částic nebo filmu.



Tabulka 2.24 Přehled hlavních druhů endogenních vměstků

Druh	Charakter	Původ
Chloridy	Částice	Sole
Fluoridy	Částice	Sole
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Částice, film	Struska
$\text{MgAl}_2\text{O}_4$	Částice, film	Struska
MgO	Částice, film	Struska
Fe-Cr-Mn	Částice	Chemické reakce v tavenině při nízké udržovací teplotě
TiC	Částice	Zjemňující přísady
$\text{TiB}_2$ , $\text{AlB}_2$	Shluky, částice	Zjemňující přísady

Vměstky negativně ovlivňují celou řadu vlastností odlitku:

V městky v tuhém stavu při lici teplotě tvoří mechanickou překážku pro pohyb kovů. Z toho vyplývá, že při lití snižují zabíhavost taveniny a brání dosazování kovů během tuhnutí. Vměstky způsobují i porezitu odlitku.

Vměstky (malé i velké) slouží jako nukleační zárodky pro vznik bublin, které zapříčiňují snížení těsnosti odlitku a zároveň dochází k průniku tlakového media podél velkých oxidických vměstků.

Nejčastějším typem vměstků jsou oxidické blány (oxidy hliníku). Materiál hliníkové slitiny jejíž struktura je na obr. 2.25 a obr. 2.26, je nemodifikovaný eutektický silumin, u kterého bylo provedeno barevné leptání. Struktura byla pozorována v polarizačním světle. Následující obr. 2.27 a obr. 2.28 znázorňují oxidickou blánu na povrchu odlitku.

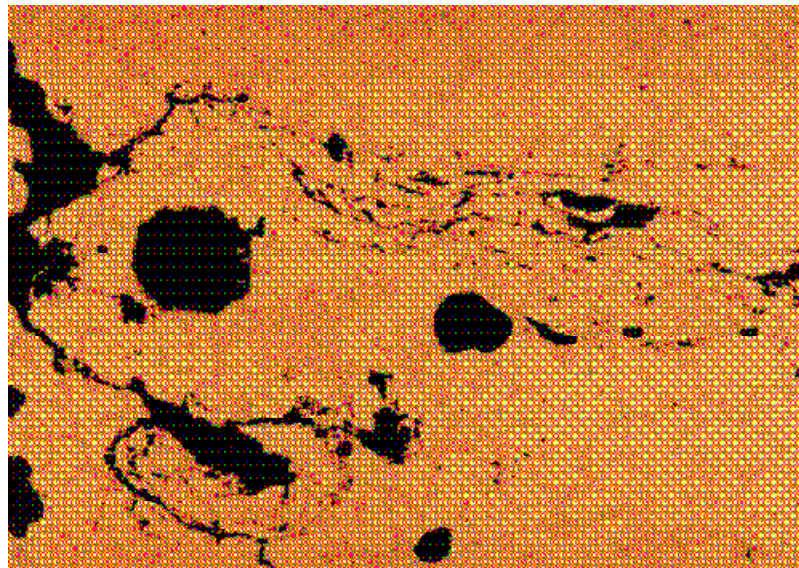




Leptáno 0,5% HF

500x

Obr. 2.25 Struktura hliníkové slitiny (Al Si11) s výskytem oxidické blány



Leptáno 0,5% HF

100x

Obr. 2.26 Mikrostruktura podeutektického siluminu slitiny AlSi7Mg0.3 s výskytem velkého shluku a množství oxidických blan.



Obr. 2.27 Odlitek s oxidickou blánou v kombinaci s ředinami



Obr. 2.28 Odlitek s oxidickou blánou

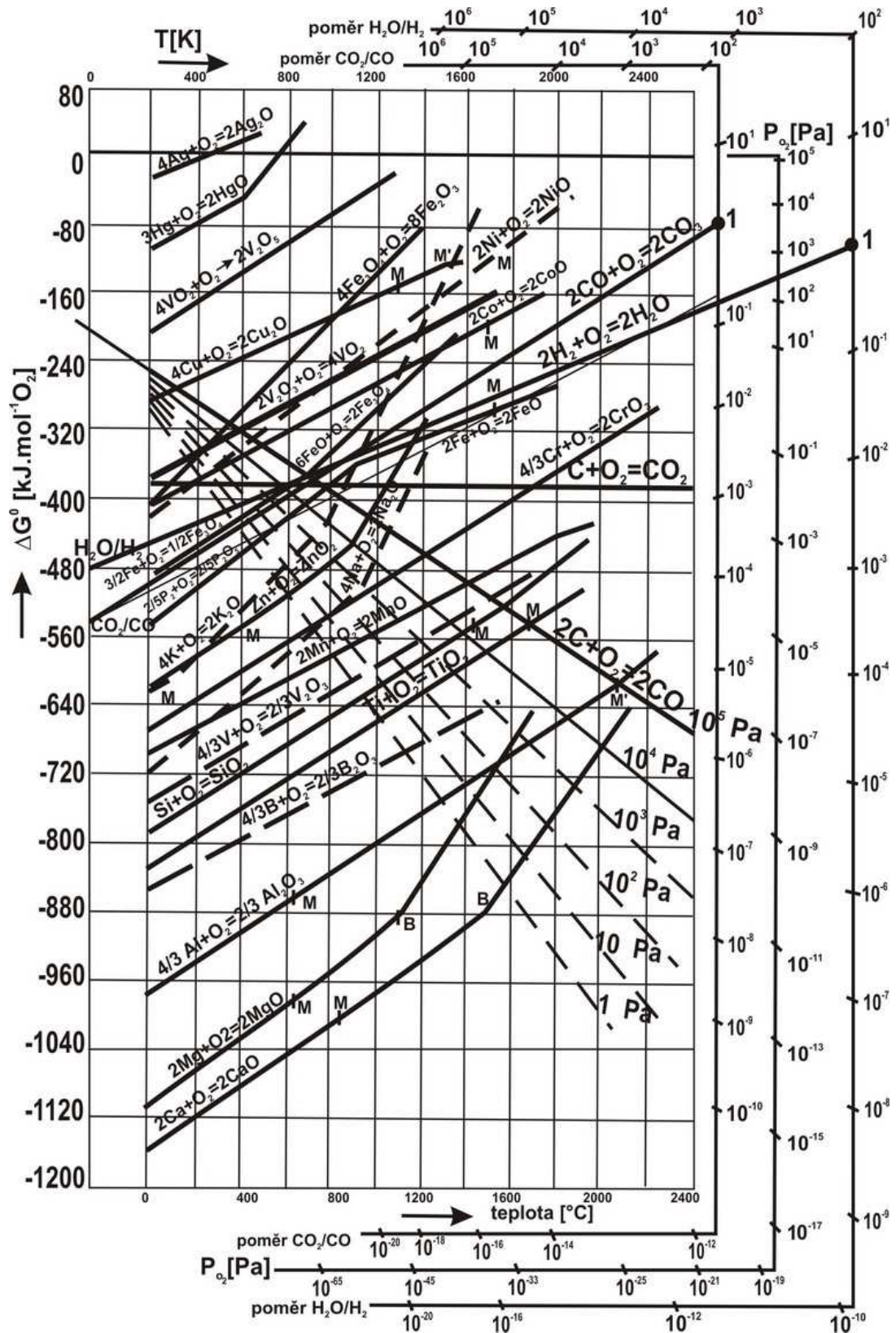
Ke vzniku nekovových vměstků ve slitině hliníku dochází zejména oxidací taveniny jak v tekutém, tak v tuhém stavu. Oxidaci hliníku lze popsat dle rovnice:





Hliník vykazuje vysokou slučivost (afinitu) s kyslíkem, jak je možné též usuzovat na základě Ellinghamova diagramu, viz obr. 2.29, ta je dána vysokou hodnotou rovnovážné konstanty, která činí  $K_p = 70,23$  při teplotě 1000 K, což je teplota reakce. Proto oxidace probíhá již při parciálním tlaku  $p_{O_2} > 1,3 \cdot 10^{-42}$  Pa. Pokud slitina obsahuje současně i hořčík v množství (cca desetiny procenta), vzniká oxidací spinel –  $Al_2O_3 \cdot 2MgO$  vysoké tvrdosti.





Obr. 2.29 Teplotní závislost Gibbsovy energie pro vznik oxidů kovů  
(tzv. Ellinghamův diagram)



Hlavním zdrojem kyslíku pro tvorbu oxidů je zejména atmosférický kyslík a vlhkost. Voda se při styku s roztaveným hliníkem rozkládá podle rovnice:



K dalším zdrojům vlhkosti patří vyzdívka pánví, vyzdívka pecí, plynné spaliny v tavících pecích, zoxidovaná vsázka, vlhká vsázka, plynné spaliny v tavících pecích, vlhké nářadí, nátěry forem, špatně vysušené tavící kelímky, vlhké rafinační soli. U těchto solí se vyskytuje jak volná voda tak i chemicky vázaná, která se uvolňuje až při vyšších teplotách. Takže když se lije do syrových forem pak kov reaguje i s vlhkostí ve formovací směsi.

Při působení vzdušného kyslíku vzniká velmi rychle na povrchu slitiny v tuhém i v kapalném stavu oxidická vrstva, kterou tvoří vrstva měkkého amorfního  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (oxidická blána) obsahující i oxidy přísadových prvků a nečistot. Rychlost zvětšování této vrstvy se postupně snižuje až se úplně zastaví na tloušťce 2 až 10 nm. Tato vrstva dobře chrání materiál před další oxidací. Na vlhkém vzduchu se na tenké vrstvě bez pórů vytváří silnější, pórovitá vrstva, která obsahuje rovněž aniont  $(\text{OH})^-$  a její tloušťka dosahuje až 0,1  $\mu\text{m}$ .

### 2.5.2 Oxidace slitin hliníku

Pro posouzení množství oxidických blan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  v tavenině slitin hliníku byl zaveden Pilling-Bedworthův poměr. Bylo prokázáno, že rychlost reakce hliníku s kyslíkem klesá je-li objem oxidu větší než objem hliníku z něhož oxid vzniká. Tento poměr můžeme zapsat pomocí rovnice:

$$P.B. = \rho_{\text{Al}} / \rho_{\text{Al}_2\text{O}_3}, \quad (10)$$

kde značí: P.B. – Pilling-Bedworthův poměr [1];

$\rho_{\text{Al}}$  – hustotu taveniny ) [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ];

$\rho_{\text{Al}_2\text{O}_3}$  – hustotu vzniklého oxidu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].



Je-li poměr P.B. větší než 1, na povrchu taveniny se vytváří souvislá vrstva kompaktního oxidu. Tato vrstva chrání taveninu před další oxidací, protože brání difúzi atomů kovů a atomů kyslíku. Tento jev je příčinou velmi dobré korozní odolnosti hliníkových výrobků a je velmi důležitý také při ochraně hladiny roztaveného kovu. Hodnota P.B. = 1,27 čistého hliníku a u většiny slitin Al-Si, což je mírně větší než 1 jsou tyto slitiny dobře odolné proti korozi. Počáteční rychlost je sice vysoká avšak s rostoucí vrstvou oxidů rychlost klesá až se oxidace zastaví úplně. Což je případ právě hliníku.

Je-li poměr P.B. menší než 1 oxidy vytvoří na hladině taveniny porézní vrstvu, která je prostupná pro kyslík. Rychlost oxidace těchto kovů je velká a neklesá s časem, protože rychlost oxidace není v tomto případě limitována difúzí kovu nebo kyslíku vrstvou oxidu. Výsledkem je neustálá oxidace taveniny. Což jsou například kovy jako hořčík, sodík a vápník.

Sklon k oxidaci prvků je dán jejich afinitou ke kyslíku a rychlost jejich oxidace je limitována typem oxidické vrstvy. Rychlost oxidace u slitin hliníku můžeme výrazně ovlivnit pomocí legujících nebo stopových prvků. Předchozí výklad vznikl na základě zkušeností slévačů.

Tloušťka oxidické vrstvy na hladině roztaveného kovu je závislá na čase a na teplotě. Oxidická vrstva je tlustá asi 0,2  $\mu\text{m}$  a to při teplotách blízkým teplotám tavení, po 10 hodinách dosahuje tloušťky asi 1  $\mu\text{m}$ . S rostoucí teplotou se však tloušťka oxidů zvětšuje rychleji a dosahuje větších hodnot. Oxid hlinitý je v tavenině hliníku vždy v tuhém stavu, protože má teplotu tavení 2050  $^{\circ}\text{C}$ .

Oxidická vrstva na povrchu taveniny slitin AlSi zůstává stejně velká do té doby než je porušena. Jakmile dojde k porušení, vytvoří se ihned nová vrstva o stejné tloušťce. Proto je nejlepší ochranou tavenin slitin AlSi před oxidací neporušená oxidická vrstva na jejím povrchu.

Slitiny AlMg oxidují během udržování na teplotě rychle a nepřetržitě, množství oxidů s časem neustále přibývá. Proto je nutné tyto slitiny během udržování na teplotě chránit buď vrstvou soli nebo jako u slitin hořčíku



ochrannou atmosférou  $\text{SO}_2$ . Při reakci mezi Mg a oxidem siřičitým vznikne na povrchu taveniny kompaktní ochranná vrstva  $\text{MgSO}_4$ .

Naproti tomu prvky třeba jako zinek, křemík, železo, mangan a měď jsou neutrální z hlediska rychlosti oxidace a porušení kompaktního oxidu hliníku.

Při práci se slitinami hliníku je nutné zachovávat celistvost oxidické vrstvy na hladině kovu během tavení, při ošetřování taveniny a při manipulaci s tekutým kovem. Také při odlévání je důležité dbát na to, aby se oxidická vrstva vířením kovu netrhala a je nutné zabránit rozstříkávání taveniny, protože každé porušení souvislosti ochranné oxidické vrstvy znamená okamžitou oxidaci dalšího kovu. Účinné odstranění oxidů je vzhledem k jejich hustotě, která je blízká hustotě hliníku a dále k vzhledem k jejich velkému povrchu, který způsobuje ztížené vyplování z taveniny, velmi obtížné a proto je možné jen za použití speciálních metalurgických postupů.

Sodík, hořčík a vápník zvyšují několika násobně rychlost oxidace i množství oxidů. Při zvýšeném obsahu vápníku a při vyšší vlhkosti vzduchu dochází k velmi silné oxidaci taveniny, nejvíce pak při jejím přelévání.

Zvláštní postavení má prvek berilium, který sice snadno oxiduje, ale vytváří kompaktní ochranou vrstvu  $\text{BeO}$ . Tato jeho vlastnost se může využít k omezení oxidace slitin typu  $\text{AlMg}$  nebo vysokopevných slitin typu  $\text{AlSi7Mg0,6}$ . Ale má velkou nevýhodu a tím je jeho jedovatost.

Rychlost oxidace je závislá kromě složení slitiny také na teplotě taveniny. Čím je teplota taveniny vyšší, tím vyšší je i rychlost oxidace. Ještě výraznější je vliv prvků při vyšších teplotách, které snadno porušují kompaktnost vrstvy oxidů a snadno oxidují. Tento jev je vyzorovaný u tavících i udržovacích pecích.

V počátečních fázích natavování vsázky dochází k největšímu vzniku oxidů, a to tehdy, když je materiál v takzvaném kašovitém stavu. Povrch vsázky je vysoce přehříván v důsledku přímého kontaktu s plameny. Oxidace je nejintenzivnější při pomalém tavení. Takto vzniklé oxidy jsou zabaleny do taveniny, z které se velmi obtížně odstraňují.



## 2.6 Technologické způsoby snížení výskytu oxidických blan

V této kapitole je uveden stručný přehled technologických možností, jak lze odstraňovat nebo alespoň snížit výskyt oxidických blan v tavenině hliníkových slitin.

a) *Rafinací* – tj. Odstranění oxidů a nekovových vměstků, které jsou rozptýleny uvnitř taveniny, nebo na jejím povrchu pomocí rafinačních solí, podrobněji se touto problematikou zabývá odstavec 2.4.2.

b) *Odplyňováním* – Při jeho aplikaci dochází zároveň k téměř dokonalému vyčištění taveniny od oxidů a nekovových vměstků. Princip odplyňování podrobněji zmíněn v kapitole 2.4.1.

c) *Odstáním* – Je to nejjednodušší, ekologický a nejméně nákladný proces. Princip spočívá v dlouhodobém udržování taveniny na takové teplotě při které dochází k samovolnému vystupování oxidů a vměstků na povrch taveniny.

Vyčištění odstáním je časově náročné, protože oxidy mají prakticky stejnou měrnou hmotnost jako tavenina, ale je to velmi účinný postup. Při tomto procesu dochází až k desetinásobnému snížení obsahu vměstků. Jejich převážná část je z taveniny odstraněna. Z hlediska zvyšování kvality odlitku při současné úspoře nákladů je výhodná kombinace odstání a filtrace. Zvýšení účinnosti filtrace a úspory filtrů dosáhneme tím, že odstraníme významný podíl vměstků časově přijatelným odstáním taveniny.

d) *Čištěním taveniny v atmosféře sníženého tlaku* – Je to založeno na principu snížení tlaku nad hladinou roztaveného kovu. Tím se poruší rovnováha a vodík rozpuštěný v tavenině se z ní začne uvolňovat. Současně s ním jsou k povrchu vyplavovány i oxidy a nekovové vměstky. Kelímek s taveninou se uzavře pod zvon a v tomto uzavřeném prostoru se sníží tlak. Při větších objemech je tavenina pro zvýšení účinnosti procesu probublávána inertním plynem. Tato metoda patří k velmi účinným, ekologicky výhodným způsobům vyčištění taveniny.





e) *Filtrací* – To je zadržováním částic filtry. Užívá se hlavně u odlitků pro letecký průmysl, které se čistí přes filtry ze skelných vláken, které slouží k zachycování makroskopických oxidů a vměstků.

Tyto filtry jsou tvořeny soustavou kanálků různého tvaru a velikosti. Účelem je, aby délka dráhy taveniny ve filtru byla co nejdelší a aby tavenina během průtoku filtrem několikrát změnila směr. Pórovitost filtru je 10 až 60 ppi (pores per inch = počet pórů na jeden palec čtvereční) a jejich velikost je dána požadavkem na filtrované množství kovu za jednotku času. Filtraci nekovových vměstků můžeme rozdělit do dvou fází:

1. Transport vměstků k povrchu filtru, který může být založen na difúzi, sedimentaci, srážce vměstku s povrchem filtru nebo hydrodynamickém efektu.
2. Usazování částic na stěně filtru vlivem adhezních sil, které mohou být mechanické (tlak), chemické, nebo fyzikální založené na van der Walsově síle. K nejdůležitějšímu mechanismu transportu patří sedimentace a nejvýznamnějším mechanismem usazování částic je jejich mechanické zachycení tlakem. Účinnost těchto filtrů je závislá na řadě parametrů. Nejdůležitější jsou rychlost průtoku taveniny, výška filtru, měrná hmotnost, pórovitost filtru, velikost filtrovaných částic.

Na obr. 2.30 a obr. 2.31 je uvedena ukázka keramických filtrů, které by měly být umístěny co nejblíže odlitku tak, aby byla eliminována možnost dalšího znečištění taveniny během přelévání.



Obr. 2. 30 Typy keramických filtrů



Obr. 2.31 Další typy keramických filtrů

V současné době se uplatňují i další typy filtrů jako např. *plošná filtrační síťka* kovová nebo tkaninová. Poměrně ekonomicky nenáročného způsobu filtrace lze dosáhnout pomocí plošných filtračních sítok. Tento typ filtrů má základní filtrační vlastnosti, kdy tzv. cezením ulpívají na povrchu sítka vměstky větší, než je velikost otvorů sítka. Na tyto usazené vměstky se potom váží menší vměstky a tvoří se tzv. filtrační „koláč“, který způsobuje ucpání sítka.

Použití těchto sítok je vhodné především pro filtraci lehkých slitin, kde lze tímto způsobem snadno odstranit především oxidické blány z taveniny kovu.



Mezi keramické typy filtrů se řadí :

*Lisované filtry.* Používají se v případě uložení filtru přímo pod vtokovým kulem, kde existuje vysoké riziko eroze formy. Vložení tohoto filtru se filtr stává překážkou proudu kovu a redukuje tak erozivní síly, které působí na stěny formy. Tyto filtry mají dále schopnost tvorby filtračního koláče a omezeně schopnost hloubkové filtrace. Hloubková filtrace je přímo závislá na velikosti vnitřní plochy otvorů filtru. Největší výhodou těchto filtrů je jejich nízká cena.

*Extrudované filtry* fungují na podobném principu. Jejich výhodou je jejich nižší tepelná kapacita, a tedy možnost rychlejšího prohřátí při lití. Tyto filtry mají větší povrch kanálků pro hloubkovou filtraci.

*Pěnokeramické filtry* lze užít stejně jako oba předchozí typy filtrů, avšak jejich největší výhodou je vysoce účinná hloubková filtrace a proto by měly být umístěny co nejbližší k odlitku. Pro slévárnu je velmi důležitá možnost výroby speciálních rozměrů, tvarů a provedení těchto filtrů v relativně krátkém časovém horizontu a bez dodatečných nákladů na výrobu lisovacích nástrojů. Celosvětový trend směřuje k použití právě tohoto typu filtrů.

*Zrnité filtry* kruhového nebo čtvercového tvaru, které se vyrábí lisováním zrn  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nebo  $\text{SiC}$  spojených sklovinou. Jejich účinnost se pohybuje v rozmezí 60 až 90% a zachytí částice o velikosti 10 až 25  $\mu\text{m}$ . Nevýhodou je, že při jejich použití není zajištěn konstantní průtočný průřez.

*Filtry s přímými kanálky* s buněčnou strukturou opět kruhového nebo čtvercového tvaru. Vyrábí se protlačováním keramické hmoty na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  a  $\text{MgO}$  přes matici požadovaného průřezu a jsou určeny pro teploty do 1450 °C. Jejich účinnost je vysoká, mají nízký průtočný odpor a konstantní průtočný průřez.

*Pěnové filtry* kruhového nebo čtvercového tvaru se složitou vnitřní strukturou se vyrábí nanášením keramické břečky na polyuretanovou houbu a následujícím vypálením. Mají vysokou účinnost filtrace, zvýšený průtočný odpor, ale není zajištěn konstantní průtočný průřez.



*Filtrací pomocí sítok* dochází k zachytávání oxidických blan na sítku. Filtrace spočívá v transportu vměstků k povrchu filtru, který může být založen na difúzi, sedimentaci, srážce vměstku s povrchem sítka nebo hydrodynamickém efektu. A dále pak usazováním částic na stěně sítka vlivem adhezních sil, které mohou být mechanické (tlak), chemické, nebo fyzikální založené na van der Waalsově síle.

### 3. Experimentální část práce

Experimenty této práce byly zaměřeny na odstranění vad, resp. oxidických blan odlitku ze slitin hliníku cylindrického tvaru o průměru  $\varnothing d = 230 \text{ mm}$ , výšce  $h = 115 \text{ mm}$  a hmotnosti  $m = 3,7 \text{ kg}$  s názvem Deckel a s číselným označením 01202541 odběratele Hydac ze slitin hliníku AlSi10Mg (EN 1706 43 000, ČSN 42 4331), viz obr. 3.1, vyráběných ve firmě Beneš a Lát a. s.. Chemické složení slitiny AlSi10Mg je uvedeno v tab. 3.2 a hodnoty mechanických vlastností v tab. 3.3. Na základě mého provedeného průzkumu a rozboru stávající technologie bylo zjištěno, že tyto vady na odlitku vznikají pravděpodobně nevhodnou technologií a metalurgií přípravy taveniny. Experimenty jsou zaměřeny především na zkoušení technologie a výrobu odlitků cylindrického tvaru. Na tomto typu odlitku vznikají při nízkotlakém lití vady – oxidické blány na části příruby odlitku.

V roce 2005 bylo odlito ve firmě Beneš a Lát a.s. 1635 kusů sledovaných odlitků odběratele Hydac. Z tohoto množství bylo vyhodnoceno jako vadných 177 kusů. To odpovídá zmetkovitosti ve výši 10,8%.



Obr. 3.1 Odlitek cylindrického tvaru Hydac 01202541



Tab. 3. 2 Chemické složení slitiny AlSi10Mg:

Prvek (%)	Množství
Si	9,00-11,00
Fe	0,55
Cu	0,05
Mn	0,45
Mg	0,20-0,45
Ni	0,05
Zn	0,1
Pb	0,05
Sn	0,05
Ti	0,15
Al	Zbytek

Tab. 3.3 Mechanické vlastnosti slitiny AlSi10Mg:

R <sub>m</sub> (Mpa)	R <sub>p0,2</sub> (Mpa)	A (%)	HB
180-260	90-220	1-2,5	55-90

### 3.1 Rozbor vad způsobených nevhodnou technologií a metalurgií

Na odlitku cylindrického typu se na funkční ploše příruby objevují oxidické blány, které snižují těsnost odlitku. Pohled na tuto oblast odlitku je uveden na obr. 3.4.

V rámci predikce uvedených vad byl záměr řešení této diplomové práce rozdělen do dvou částí.

*První část* byla zaměřena na metalografické zhodnocení struktury kritických míst odlitku (kde vznikají vady) tak, aby bylo možné zdokumentování vad a případné vyvození závěrů a dalších výrobních opatření.



*Druhá část byla věnována rozboru stávající metalurgie a technologie výroby tohoto typu odlitku.*

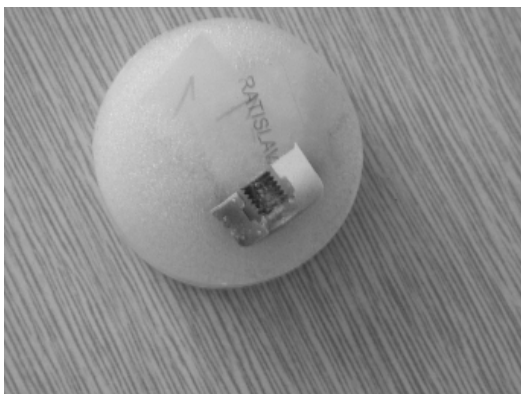


Obr. 3.4 Pohled na místa odlitku s výskytem oxidických blan

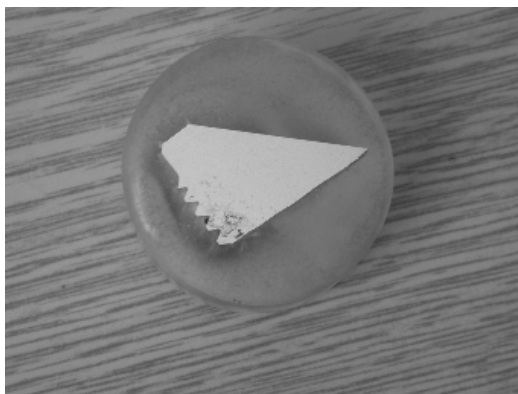
### 3.1.1 Metalografické zhodnocení struktury hliníkového odlitku

Metalografické hodnocení struktury odlitku bylo prováděno s použitím světelného rastrovacího mikroskopu Neophot 21 (výrobce Carl Zeiss Jena GmbH). Vzorky byly připraveny běžným metalografickým způsobem. K leptání byla použita kyselina chlorovodíková. Místo odběru vzorků je patrné z obr. 3.4. Jedná se o místa, kde byl předpokládán výskyt oxidických blan. Vzorky byly pozorovány při zvětšení 100, 250 a 500 násobném. Z těchto odlitků byla získána celá řada metalografických vzorků, viz obr. 3.5 (a,b,c), z kterých byly vybrány jejich zástupci, viz obr. 3.6 až 3.14. Na těchto obrázcích je možné pozorovat mikroporezitu (černé obrazce).

Struktura sledovaných vzorků (slitina hliníku AlSi10Mg) je tvořena, krystaly tuhého roztoku  $\alpha$  (světlé oblasti) a eutektikem (směs krystalů  $\alpha$  a  $\beta$ ) – tmavé oblasti.



a) Odlitek č. 1

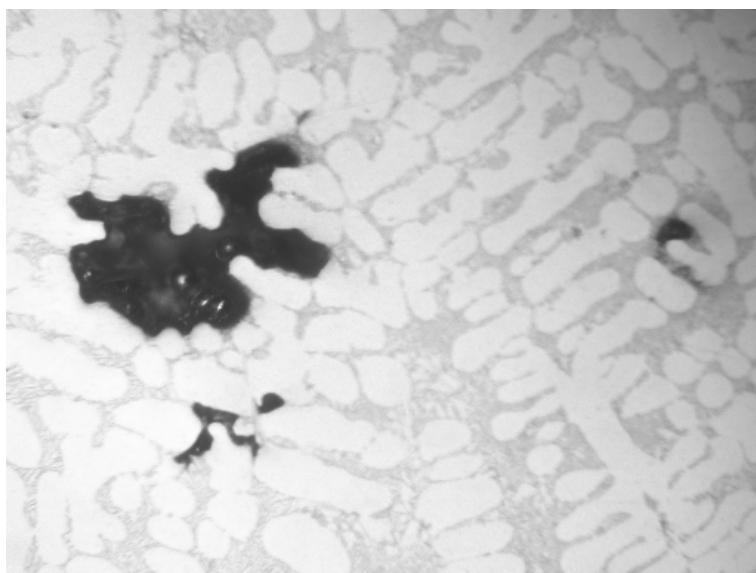


b) Odlitek č. 2



c) Odlitek č. 3

Obr. 3.5 Ukázka vzorků pro metalografické pozorování

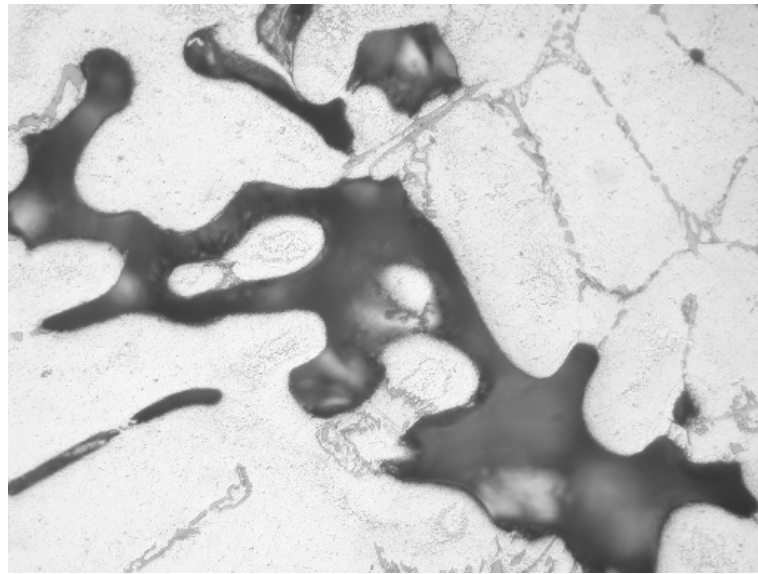


leptáno 0,5% HF

100x

Obr. 3.6 Mikrostruktura odlitku č.1

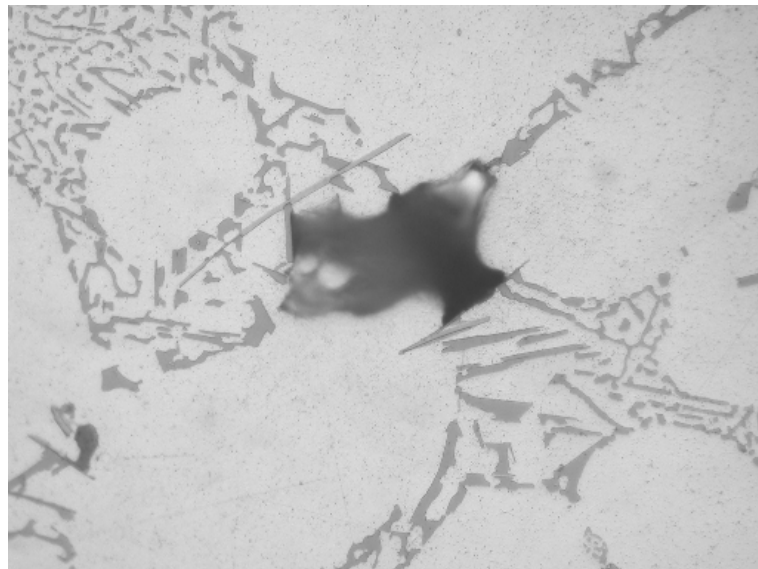




leptáno 0,5% HF

250x

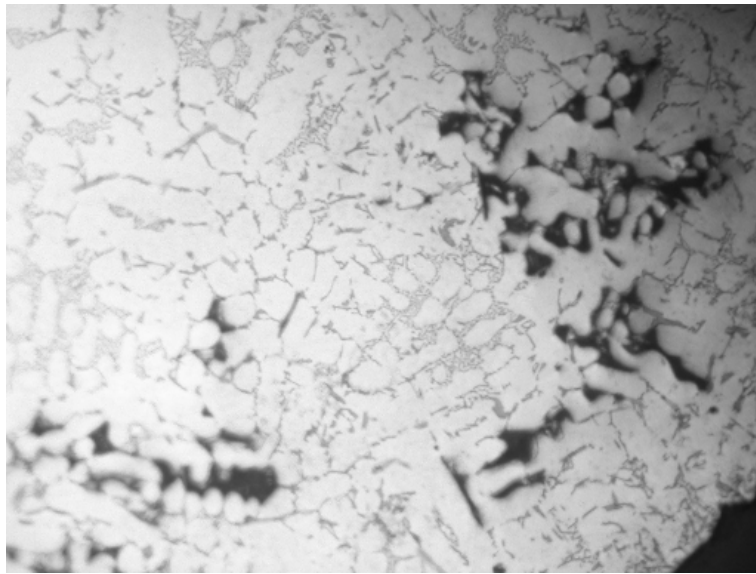
Obr. 3.7 Mikrostruktura odlitku č.1



leptáno 0,5% HF

500x

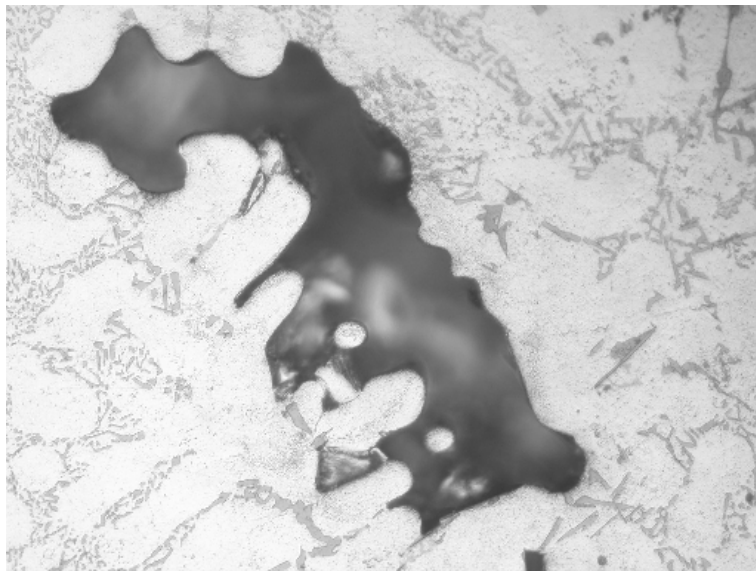
Obr. 3.8 Mikrostruktura odlitku č.1



leptáno 0,5% HF

100x

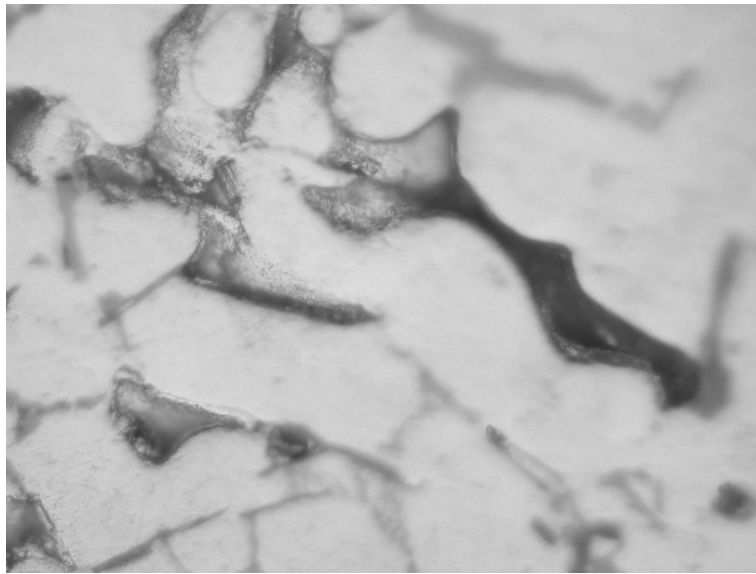
Obr. 3.9 Mikrostruktura odlitku č.2



leptáno 0,5% HF

250x

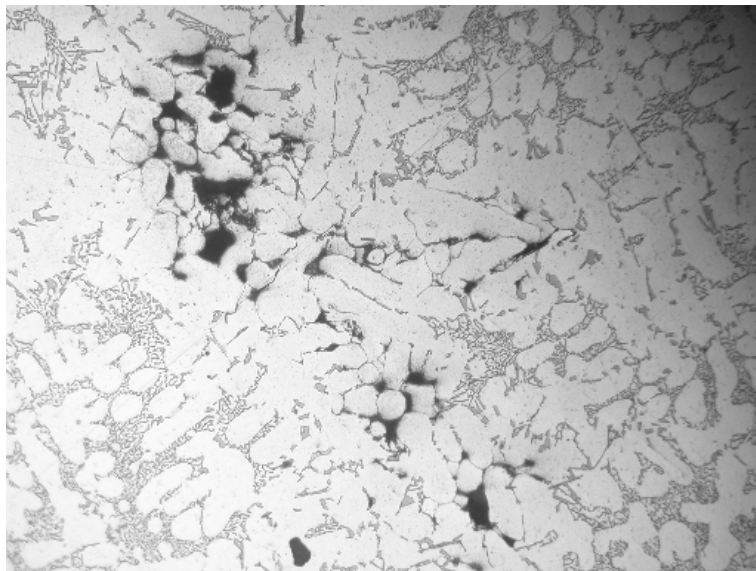
Obr. 3.10 Mikrostruktura odlitku č.2



leptáno 0,5% HF

500x

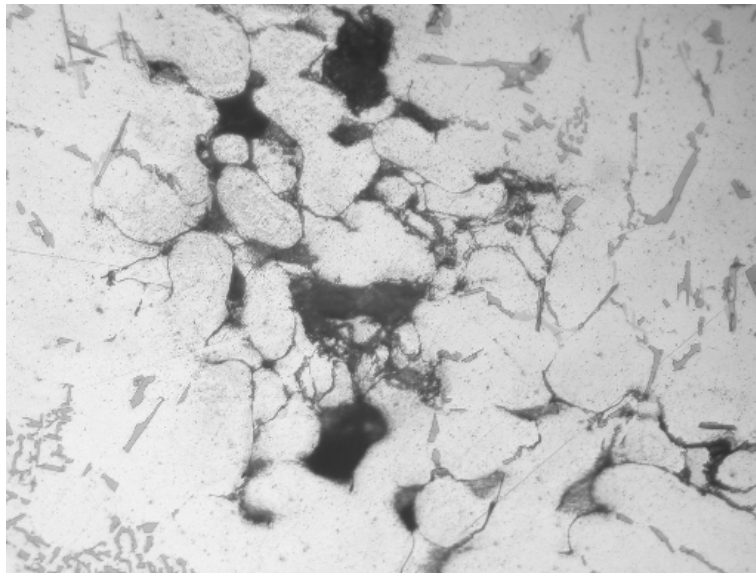
Obr. 3.11 Mikrostruktura odlitku č.2



leptáno 0,5% HF

100x

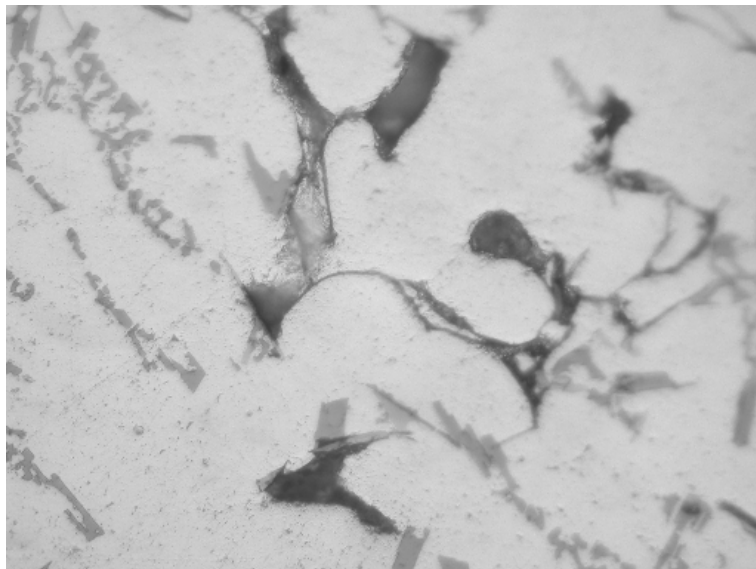
Obr. 3.12 Mikrostruktura odlitku č.3



leptáno 0,5% HF

250x

Obr. 3.13 Mikrostruktura odlitku č.3



leptáno 0,5% HF

500x

Obr. 3.14 Mikrostruktura odlitku č.3



Identifikace a vyhodnocení oxidických blan (morfologicky nepravidelné částice, které se pohybují od několika desítek  $\mu\text{m}$  až do několika mm) byla provedena na základě metalografického rozboru ve Výzkumném ústavu v Panenských Břežanech pomocí EDX analýzy a s použitím elektronového rastrovacího mikroskopu (Carl Weiss Jena). Ukázka rastrovacího elektronového mikroskop, viz obr. 3.15.

Činnost rastrovacího elektronového mikroskopu je založena na použití úzkého svazku elektronů emitovaných ze žhavené katody a urychlovaných v elektronové trysce tvořené systémem katoda - Wehneltův válec - anoda. Paprsek je dále zpracován elektromagnetickými čočkami a je rozmítán po povrchu pozorovaného objektu. Synchronně s tímto svazkem elektronů je rozmítán elektronový svazek paprsku v pozorovací obrazovce, viz příloha 3.



Obr. 3.15 Pohled na část rastrovacího elektronového mikroskopu



Na elektronovém rastrovacím mikroskopu, bylo analyzováno 50 vzorků s předpokládaným výskytem nekovových vměstků – oxididckých blan. Analýza potvrdila u všech vzorků jejich výskyt. Tyto vady lze také sledovat na obrázcích (obr. 3.6 až 3.14).

### 3.2 Rozbor metalurgie a technologie výroby odlitků

Rozbor metalurgie a přípravy taveniny byl zaměřen mimo jiné na kvalitu vsázkového materiálu a celkovou přípravu taveniny až do okamžiku jejího odlití. K tavení byla použita plynová pec, viz obr. 3.16 o obsahu 650 kg.



Obr. 3.16 Pohled na tavní plynovou pec

Do této tavní pece se vkládá vratný materiál, který zaplňuje 40% tavného obsahu. Zbytek zaplní vsázený materiál ve formě housek.

Tavní pec je vybavena programovatelným regulátorem teploty (MIKROTHERM 825), která se nastavuje na počátku tavby. Hodnota



nastavení teploty se ověřuje pomocí přenosného digitálního pyrometru DYTERM 97 QMP 8240-5.

Teplota taveniny před jejím vylitím z tavicí pece do přepravního kelímku vykazuje teplotu v rozsahu o 20 až 30°C vyšší než je technologická lící teplota taveniny, která činí pro nízkotlakové lití 710°C.

Po natavení se tavenina přelije do přepravního kelímku a doveze se do udržovací pece příslušného nízkotlakého zařízení. Zde se tavenina rafinuje. K tomu se používá rafinační sůl COVERAL GR 24, hodnoty rafinační soli jsou uvedeny v příloze 4, v předepsaném množství 0,450 kg na 300 kg taveniny. Po rafinaci se stáhne z povrchu taveniny struska se zbytky vyreagované rafinační soli.

Takto metalurgicky ošetřená tavenina se převezde k udržovací peci nízkotlakého zařízení. Zde se provádí modifikace taveniny množstvím 0,400 kg modifikačního činidla (AlSr10) na 300 kg taveniny. Pak je tavenina přelita do udržovací pece, kde se provádí očkování taveniny 0,400 kg AlTi na 300 kg taveniny. Dále ještě po každých třech hodinách je tavenina modifikována (0,100 kg AlSr10) a očkována (0,100 kg AlTi).

Takto připravená tavenina se odlévá prostřednictvím vzduchu vháněného na hladinu taveniny v peci o tlaku 0,2 [MPa]. Režim nízkotlakového lití je proveden v tomto cyklu:

- a) plnění dutiny formy taveninou po dobu 30 s (tlak plnění 0,2 MPa),
- b) dotlak po dobu 110 [s] (při tlaku 0,04 MPa).

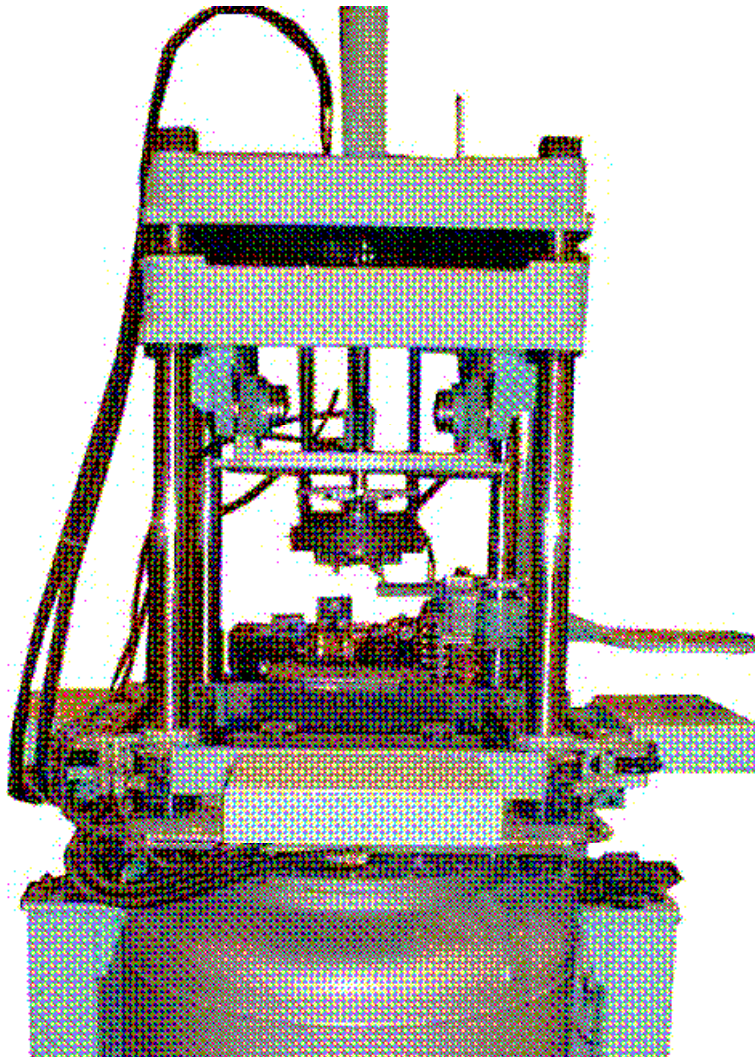
Celková doba tuhnutí, která je vztažena k počátku plnění probíhá 160 [s]. Po ukončení tuhnutí odlitku následuje chlazení slévárenské formy vzduchem po dobu 15 [s]. Vzduch je do kanálů formy vháněn tlakem 0,3 [MPa]. Pak následuje otevření formy prostřednictvím hydraulického tahače a horní pohyblivá část formy unáší odlitek, který je vyjmut pomocí čtyř vyhazovačů. Po vyjmutí je odlitek vizuálně kontrolován a číselně označen. Na obr. 3.17 je uvedeno nízkotlaké zařízení, na kterém byly odlévány sledované odlitky.





Pak následuje ošetření líce slévárenské formy (zbavení nečistot, popř. provedení izolačního nátěru nebo nástřiku). Takto opatřená forma je připravena k dalšímu pracovnímu cyklu.

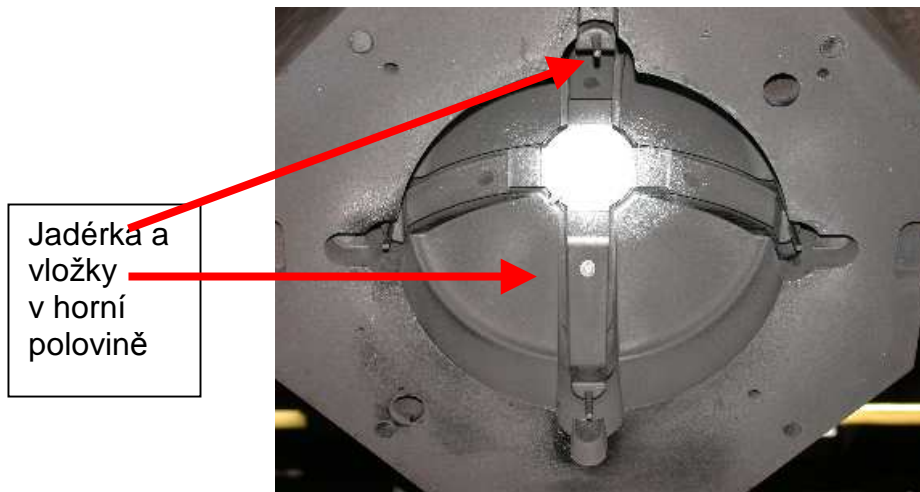
Jak je z výše uvedeného patrné, je celý technologický proces a metalurgie taveniny prováděna celkově dobrým způsobem, avšak malá pozornost je věnována odplyňování a filtraci taveniny pomocí ocelových sítěk.



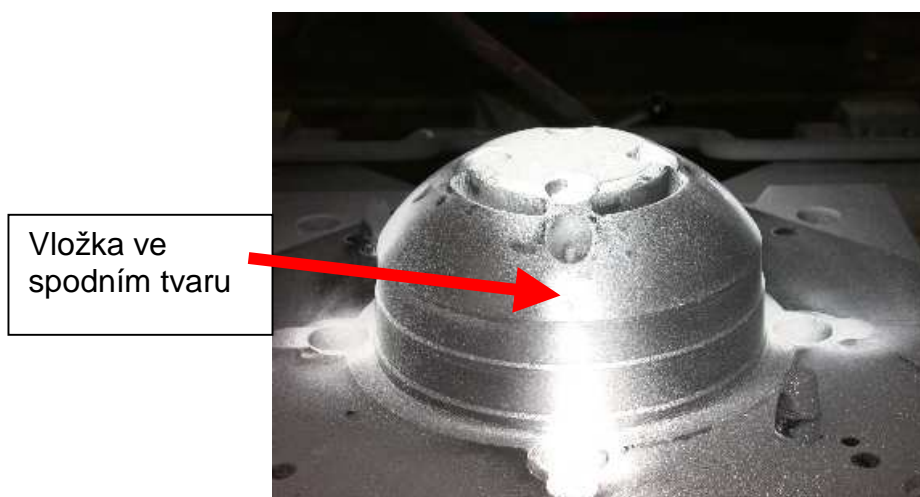
Obr. 3.17 Nízkotlaké zařízení

*Charakteristika kovové formy* - Rám kovové formy pro nízkotlaké lití je vyroben z oceli ČSN 11 534. Tvarové vložky z oceli ČSN 19 552. Tvar dutiny formy je patrný z obr. 3.18 (a,b).





a) Horní část formy



b) Dolní část formy

Obr. 3. 18 Části slévárenské formy pro nízkotlakové odlití odlitků

Pracovní teplota formy je 320 až 340°C. Líc formy spolu s vtokovou trubicí je ošetřen izolačním postřikem DYCOTE 39 a na trubici je ještě proveden výmaz prostředkem STEIGER WOHO. Líc formy je opatřen prostředkem Aquanetem, který zlepšuje přestup tepla z odlitku do formy.

### 3.3 Návrh opatření ke snížení výskytu oxidických blan

Na základě výsledků metalurgického hodnocení struktury odlitků a zhodnocení stávající metalurgie bylo zjištěno, že do technologického postupu výroby sledovaných odlitků je třeba nutně zavést operaci odplynění taveniny



a současně též i uplatnit zavedení sítěk do místa vyústění plnicí trubice do formy.

Výběr technologických opatření pro snížení výskytu počtu oxidických blan jsem navrhovala s ohledem na možnosti kterými slévárna disponuje a s ohledem na typ lícího zařízení.

Z těchto důvodů nemohla být použita metoda odstavení taveniny, protože slévárna nemá k dispozici další udržovací pec, která je k tomuto účelu bezpodmínečně nutná. Nemohly být použity keramické filtry, protože zmenšují průtok taveniny ve vtoku a ochlazují ho. Také metoda snížení tlaku na hladině taveniny se nemohla použít, protože tato metoda vyžaduje změnu ostatních lících parametrů, což nebylo u sledovaných odlitků cylindrického typu možné uskutečnit.

Z výše uvedeného vyplývá, že jsem jako možná opatření mohla a doporučila odplynění taveniny pomocí odplynovací trubice a jako další návrh řešení vložení kovových sítěk v místě vtoku, která neochlazují vtok. Navržená opatření byla provedena ve třech etapách.

1. etapa – odplynění taveniny pomocí dusíku,
2. etapa – filtrace kovovými sítky,
3. etapa – kombinace odplynění dusíkem a filtrace kovovými sítky.

### **3.4 Experimentální ověření navržených opatření**

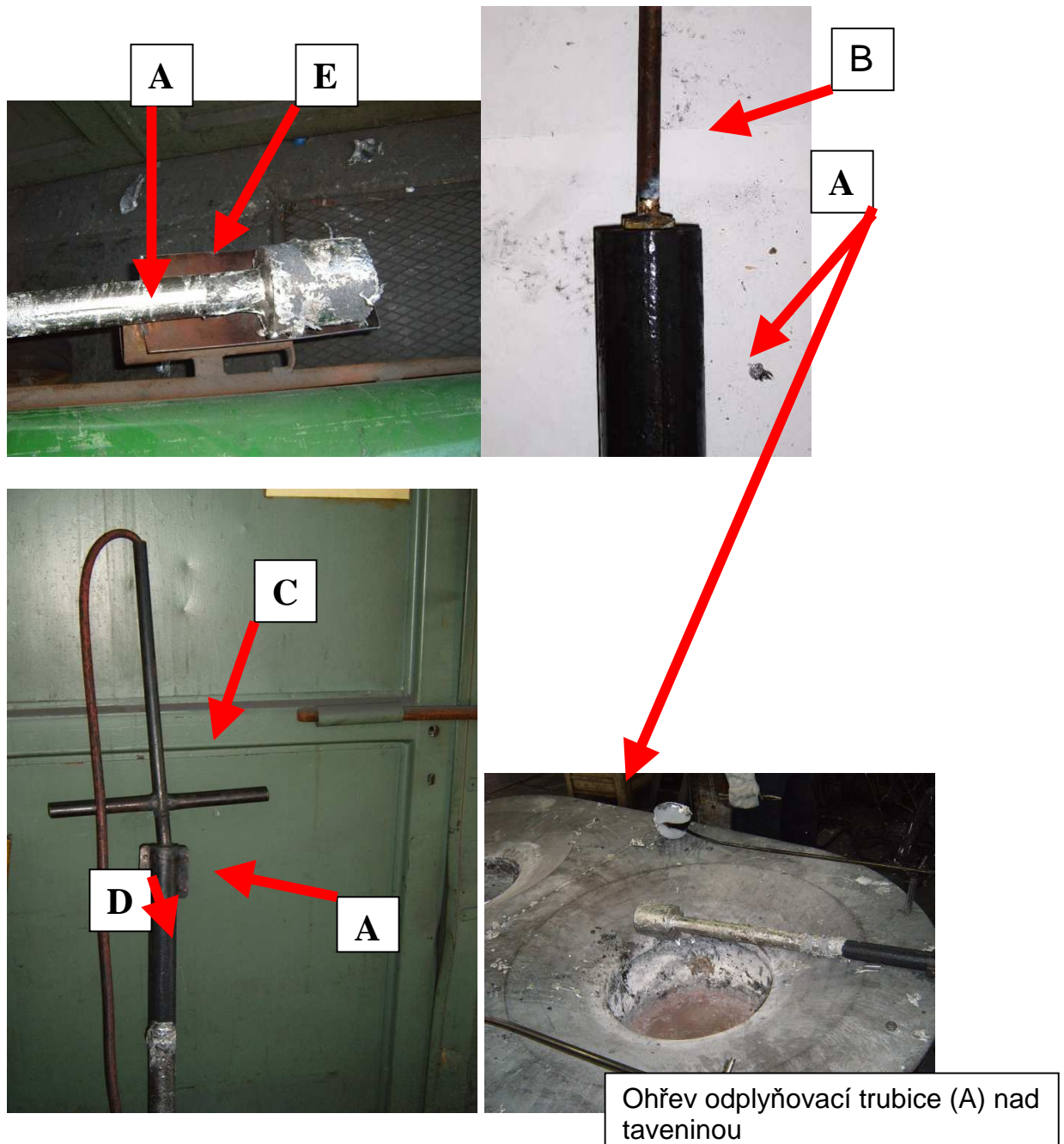
#### **3.4.1 Odplynění taveniny pomocí dusíku**

Ověřování navrženého experimentu bylo provedeno během jedné směny, ve které bylo odlito 110 odlitků. A to tak, že po natavení slitiny hliníku (tavení slitiny AlSi10Mg bylo uvedeno v kapitole 3.2) a nalití do přepravního kelímku a rafinaci se provedlo odplynění pomocí dusíku. Tavenina byla následně převezena do udržovací pece, kde byla rovněž provedena modifikace (AlSr10) a očkování (AlTi) a byly odlity odlitky.

Před začátkem odplynování se zkontrolovala správná funkce odplynovacího zařízení, zejména stav odplynovací trubice, viz obr. 3.19 (A).



Montáž začíná tím, že se připojí připojovací trubička (B) na určenou přípojku. Pak se nasadí na hadici (D) ochranný a manipulační přípravek (C). Potom se může připojit hadice na připojovací trubičku odplyňovací trubice. A nakonec následuje nasazení a připevnění ochranného a manipulačního přípravku na odplyňovací trubici (A).



Obr. 3. 19 Pohled na odplyňovací trubici

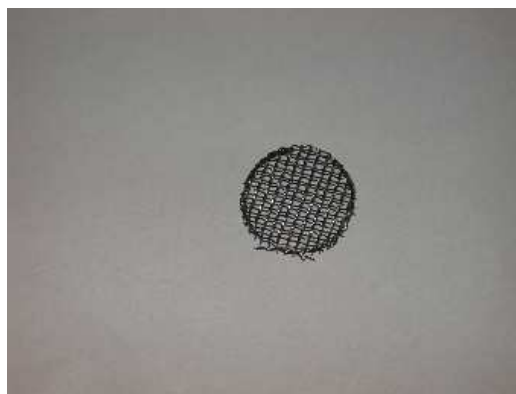


Odplyňovací trubice musí být před odplyňováním ohřáta na správnou teplotu (cca 300°C). Po ohřátí je do trubice vháněn dusík o tlaku 0,3 až 0,4 MPa. Současně se trubice ponoří do taveniny a po dobu 8 minut probíhá odplyňování při průtoku dusíku 13 litrů za minutu. Po uplynutí této doby je trubice vyjmuta z taveniny. Takto metalurgicky ošetřená tavenina byla použita pro výrobu sledovaných odlitků, u kterých se očekávalo snížení zmetkovitosti resp. snížení výskytu oxidových blan. Jak je obecně známo, výskyt oxidických blan způsobuje v podstatě porušení souvislosti krystalické struktury odlitku. Porušení lze zjistit provedením tlakové zkoušky. Proto 110 vyrobených odlitků na základě výše uvedeného metalurgického opatření bylo podrobeno 100% tlakové kontrole. Popis tlakové zkoušky viz příloha 5. Výsledky této kontroly jsou uvedeny v kapitole, 3.5.

#### 3.4.2 Filtrace ocelovými sítky

Druhé opatření, které se týkalo použití sítok, bylo provedeno v další směně, při které bylo vyrobeno 110 odlitků. Sítko obr. 3.20 z ocele ČSN 11 500 kruhového průřezu o průměru  $d = 30$  mm a výšce  $h = 10$  mm, se vložilo do vtokového kůlu v místě, kde ústí do kovové formy. Vtok byl na začátku směny ošetřen výmazem Steiger Woho a přerosen Dycote 39. Sítko se ničím neošetřuje.

Po skončení směny opět byly všechny odlitky podrobeny 100% tlakové zkoušce. Výsledky jsou uvedeny v kapitole, 3.5.



Obr. 3.20 Pohled na filtrační sítko



### 3.4.3 Kombinace odplynění dusíkem a filtrace ocelovými sítky

Jak již bylo uvedeno, viz str. 61, činila zmetkovitost 10,8% výroby stávajících odlitků za rok 2005, tj. 14 zmetků v jedné směně, při které se odlije 110 odlitků.

Kombinace odplynění a použití sítok též probíhala během jedné směny v níž bylo odlito 110 odlitků. Po natavení slitiny, přelití do přepravního kelímku a rafinaci se provedlo odplynění. Pak byla tavenina dopravena před udržovací pec, kde proběhla modifikace tyčí AlSr10 a zjemnění zrna tyčí AlTi. Sítko se vložilo do vtokového kůlu v místě, kde ústí do kovové formy. Po přelití taveniny do udržovací pece se odlily odlitky. Po skončení směny se u všech 110 odlitků provedla 100% tlaková kontrola. Výsledky jsou uvedeny v kapitule 3.5.

## 3.5 Výsledky zavedených opatření

Výsledky tlakové zkoušky jsou uvedeny v tab. 3.21. Z tabulky je zřejmé, že k největšímu snížení zmetkovitosti došlo při kombinaci odplynění dusíkem a filtraci ocelovými sítky. Z původní zmetkovitosti, která činila 10,8% klesla zmetkovitost na 6,4%.

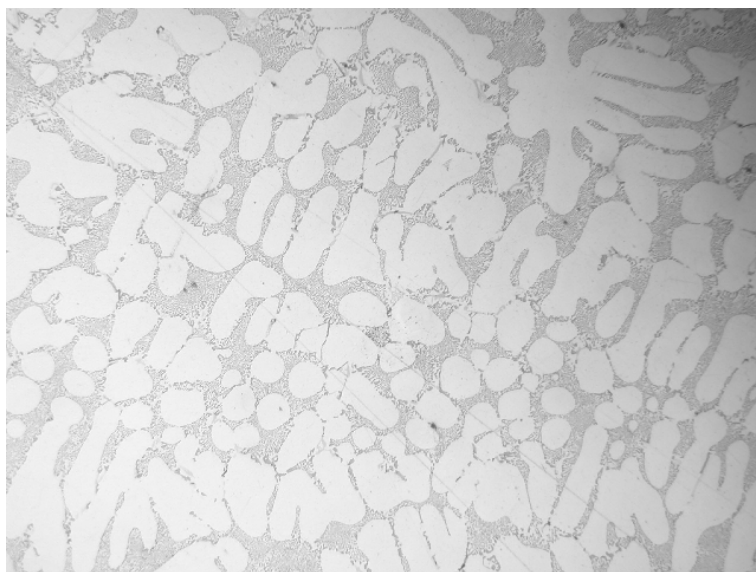
Tab. 3.21 Přehled výsledků po tlakové kontrole

č. etapy	výsledek	Množství odlitků	zmetkovitost
1. ETAPA	vyhovující	102	7,3 %
	nevyhovující	8	
2. ETAPA	vyhovující	100	9,1 %
	nevyhovující	10	
3. ETAPA	vyhovující	103	6,4 %
	nevyhovující	7	



Vedle provedení kontroly těsnosti sledovaných odlitků tlakovou zkouškou bylo provedeno též i metalografické hodnocení celé řady odlitků. Z tohoto hodnocení bylo zřejmé, že použitá opatření byla účinná. Dle očekávání bylo nejúčinnější opatření kombinace obou způsobů (odplynění a filtrace).

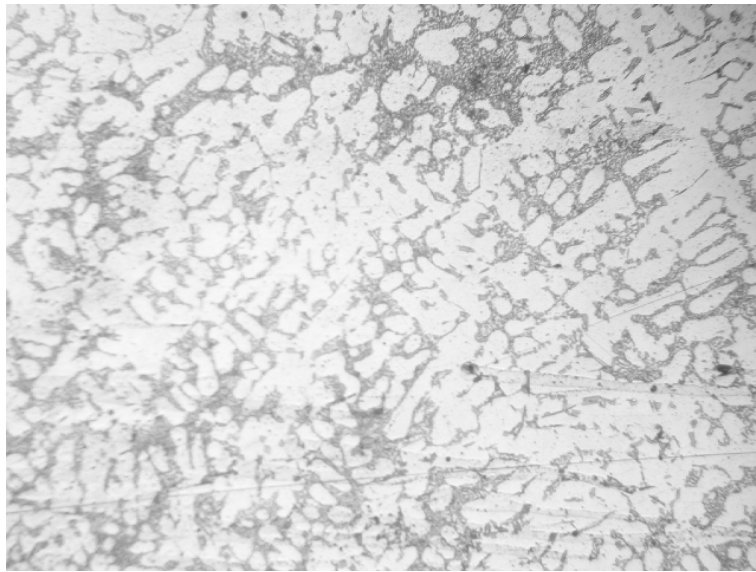
Z odlitků vyrobených s těmito opatřeními, které byly po tlakové zkoušce označeny jako vyhovující, byly odebrány vzorky pro metalografické pozorování struktury. Vzorky byly odebrány z míst, kde byl před zavedeným opatřením největší výskyt vad. Získané struktury jsou uvedeny na následujících obrázcích 3.22 až 3.24. Z těchto obrázků je zřejmé, že navržená a provedená metalurgická opatření přispěla ke snížení výskytu oxidických blan a na strukturách není výskyt oxidických blan ani vady jiného druhu. Proto nebylo nutné provést další analýzu struktury odlitků pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu.



Leptáno 0,5% HF

100x

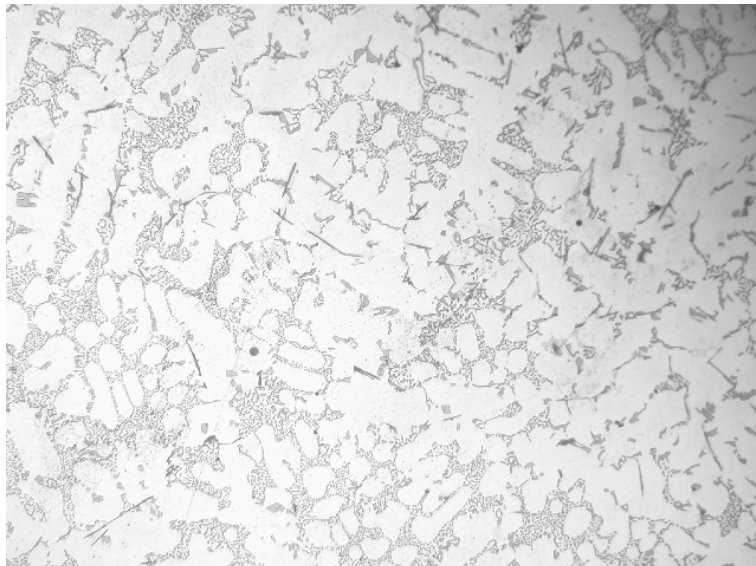
Obr. 3.22 Struktura odlitku č.3



Leptáno 0,5% HF

100x

Obr. 3.23 Struktura odlitku č.2



Leptáno 0,5% HF

100x

Obr. 3.24 Struktura odlitku č.1

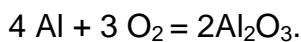


## 4. Diskuse výsledků

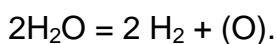
Tato diplomová práce, která byla prováděna ve spolupráci se slévárnou Beneš a Lát a.s v Průhonicích, přináší dílčí informace o vzniku a odstranění nekovových vměstků – oxidických blan, z hliníkových odlitků vyráběných nízkotlakým litím. Diplomová práce byla zaměřena na nalezení takové technologie, která by vedla ke snížení výskytu oxidických blan v hliníkových odlitcích cylindrického typu. Jak je obecně známo, slitiny hliníku při svém odlévání vyžadují přísné dodržování technologických postupů, které se týkají především přípravy a odlévání taveniny.

Současně je nutné, aby technologický postup obsahoval všechny standardně používané operace týkající se přípravy a odlévání slitin hliníku. V tomto smyslu byla řešena i tato diplomová práce, která byla rozdělena na teoretickou a experimentální část.

Teoretická část diplomové práce je zaměřena především na popis metody nízkotlakého lití, technologii výroby taveniny a oxidických blan, které vznikají především oxidací hliníku, jak v tekutém, tak i v tuhém stavu dle rovnice:



Je to dáno především vysokou slučivostí hliníku s kyslíkem, která je charakterizována vysokou hodnotou rovnovážné konstanty, která činí  $K_p = 70,23$  při teplotě 1000 K, což je teplota reakce. Proto oxidace probíhá již při parciálním tlaku  $p_{\text{O}_2} > 1,3 \cdot 10^{-42}$  Pa. Při této oxidaci vzniká na povrchu slitiny velmi rychle tenká oxidická vrstva měkkého amorfního  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (oxidická blána). Kyslík se do taveniny dostává hlavně z atmosférického vzduchu a z vlhkosti dle rovnice:



Dalším zdrojem kyslíku může být např. vyzdívka pánví, vyzdívka pecí, plynné spaliny v tavících pecích, zoxidovaná vsázka, vlhká vsázka, plynné spaliny v tavících pecích, vlhké nářadí, nátěry forem, špatně vysušené tavící kelímky, vlhké rafinační soli. Tyto oxidické blány způsobují narušení matrice, které vede ke snížení mechanických vlastností slitiny, zhoršují chemickou odolnost, slévárenské vlastnosti, těsnost a obrobiteľnosť.





V dnešní době je známo mnoho technologií, kterými lze snížit výskyt nebo odstranit co nejvíce oxidických blan. Mezi tyto technologie patří rafinace, odplyňování, odstání, čištění taveniny v atmosféře sníženého tlaku a filtrace pomocí keramických filtrů nebo kovových sítěk.

Experimentální část práce je zaměřena na rozbor stávající metalurgie a technologie výroby odlitku cylindrického tvaru a na návrh opatření ke snížení výskytu oxidických blan a tím i ke snížení zmetkovitosti, která činila 10,8% v roce 2006, během kterého bylo odlito 1635 sledovaných odlitků cylindrického typu a z toho bylo 177 zmetků. Z rozboru technologie výroby odlitků, která je prováděna poměrně dobrým způsobem, zahrnujícím po natavení a přelití do rozvážecího kelímku, rafinaci a modifikaci vyplynulo, že nebyl věnován dostatek pozornosti ošetřování taveniny, tudíž se v odlitcích vyskytovaly oxidické blány. Ty způsobovaly netěsnost odlitků a proto jsem navrhla, jako opatření, zavedení po rafinaci odplynění dusíkem pomocí odplyňovací trubice a vložení ocelového sítka do vtokového kůlu v místě vyústění do dutiny formy. Opatření bylo navrženo s ohledem na možnosti, kterými slévárna disponuje a na nízkotlaké zařízení, které slévárna vlastní.

Nejprve během jedné směny, ve které bylo odlito 110 odlitků, bylo zavedeno odplyňování taveniny, v následující směně, rovněž při objemu 110 odlitků, se vkládala sítka a ve třetí směně, ve které bylo odlito rovněž 110 odlitků, se provedla kombinace odplynění a vkládání sítěk. Po vyhodnocení zmetkovitosti z těchto tří směn vyšla jako nejúčinnější kombinace odplynění a vkládání sítěk. Tímto opatřením došlo ke snížení zmetkovitosti z 10,8% na 6,36%, což činí roční úsporu 46 183 Kč.

Celkově lze konstatovat, že provedená opatření v přípravě taveniny při odlévání jsou dostačující a napomáhají zlepšovat kvalitu vyráběných odlitků (sledované odlitky cylindrického tvaru ze slitiny hliníku AlSi10Mg). Zavedení podobných opatření při výrobě nízkotlakých odlitků by mělo též zlepšit jejich kvalitu.



## 4. Závěr

Diplomová práce řeší aktuální téma týkající se odstraňování nekovových vměstků odlitků ze slitin hliníku (AlSi10Mg) vyráběných nízkotlakým způsobem.

Práce je rozdělena do dvou základních částí. Na část teoretickou a experimentální. Teoretická část je zaměřena na popis metody nízkotlakého lití, metalurgické přípravy taveniny a popisu oxidických blan a jejich možnosti odstranění.

Experimentální část práce je zaměřena na odstranění resp. snížení oxidických blan v odlitcích vyráběných nízkotlakovým způsobem, tím i na snížení zmetkovitosti odlitků vyráběných ve firmě Beneš a Lát a.s..

Získané poznatky a výsledky řešení této diplomové práce lze shrnout do těchto dílčích závěrů:

1. Při výrobě odlitků ze slitin hliníku vyráběných nízkotlakovým způsobem je nutné důsledně dodržovat technologický postup jejich výroby, zejména co nejvíce zabránit oxidaci taveniny slitin hliníku a nepřipustit proniknutí vměstků do odlévané taveniny.

2. Současně je nutné provádět prevenci před oxidací taveniny, to znamená, že je nutno do technologického postupu začlenit odplynování taveniny, odstátí taveniny, snížení tlaku na hladině taveniny. Další možností je i filtrace taveniny pomocí keramických filtrů a nebo kovových sítok.

3. Úprava tlakového media např. vysušení vzduchu nebo použití inertního plynu, což je však velmi nákladné.

4. Pokud se jedná o výrobu sledovaných odlitků, bylo zjištěno, že je nutné provádět metalurgické ošetření taveniny ke snížení vzniku oxidických blan. Na základě možností slévárny se ukázalo, že je velmi účinné provádět kombinaci odplynění pomocí dusíku (probubláváním taveniny po dobu 8 minut) a filtrace – vkládání kovových sítok do místa vyústění vtokové trubice do dutiny formy.

5. Provedená opatření vedla ke snížení zmetkovitosti z původní 10,8% na 6,4%.



## 6. Ekonomické zhodnocení

Bez zavedení doporučených technologických opatření - odplynění a kovových sítok činila zmetkovitost odlitků v důsledku výskytu oxidických blan 10,44% ( 177 vadných dílů z 1635 litých za rok 2005). Při ceně odlitku 447,40 Kč byla ztráta cca 79 190 Kč/rok. Při nasazení odplynování pomocí  $N_2$  klesla zmetkovitost na 7,3 % , tzn. snížení ztráty na cca 50.109,- Kč. Při zakládání sítok do vtoku klesla zmetkovitost na 9,1 % , tzn. další snížení ztráty až na konečných cca 62.636,- Kč.

Po zavedení odplynování taveniny a zakládáním sítok do vtoku odlitku klesla zmetkovitost z 10,8% na 6,4%, tzn. hrubá úspora na zmetcích je cca 46 183 Kč/ rok , při následujících nákladech:

- Hmotnost 1 ks odlitku = 3,70 kg
- Náklady na dusíku pro odplynění 1000 kg taveniny = 130 Kč
- Náklady na dusík na 1 odlitek 0,13 Kč
- Náklady na 1635 odlitků = 212,55 Kč
- Náklady na jedno sítko = 1,30 Kč
- Životnost jednoho sítka = 1 odlitek
- Náklady na sítka pro 1635 odlitků = 2125,5
- Náklady na 1635 odlitků 2338 Kč



## Seznam použité literatury:

- [1] Grígerová, T. – Lukáč, I. – Kořený, R.: Zlievarenstvo neželezných kovov. ALFA, 1988, Bratislava.
- [2] Vlčko, J.- Slovák, S.: Zlievárenská technológia. ALFA, 1987, Bratislava.
- [3] Nová, I.: Teorie slévání díl II. [skripta] FS – KSP, TU v Liberci (v tisku).
- [4] Holeček, S. – Řezníček, P.: Tavení, úprava taveniny a lití slévárenských slitin hliníku – Česká slévárenská společnost pro neželezné kovy Praha 1995.
- [5] Michna, Š. – Lukáč, I. – Očenášek, V. – Kořený, L. – Drápala, J. – Schneider, H. – Miškuřová, A.: Encyklopedie hliníku. ADIN, 2005, Přerov.
- [6] Vrtíšek, P.: Termická analýza (Diplomová práce). FS – VUT Brno, 2003
- [7] Vrtílek, J.: Nízkotlaké lití-nejkvalitnější řízení procesu lití a tuhnutí odlitku. Slévárství 9/2005, s. 422-423, ISSN 0037-6825
- [8] technické podklady firmy Beneš a Lát a.s. Průhonice
- [9] [www.cvut.cz](http://www.cvut.cz)  
[www.vslib.cz](http://www.vslib.cz)  
[www.volny.cz/vuk/hlavni.htm](http://www.volny.cz/vuk/hlavni.htm)
- [10] Sedláček, V.: Neželezné kovy a slitiny. SNTL, 1979, Praha
- [11] Píšek, F. – Jeníček, L. – Ryš, P.: Nauka o materiálu I 3. ACADEMIA, 1973, Praha



### **Prohlášení**

Byla jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/200 Sb. O právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vytvořila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

26. května 2006



### **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular section 60. School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

2006-05-06



## Příloha 1

## Technické údaje zařízení LASER

ECO LASER MANUÁL		AUTOMAT. ECO LASER
<b>Hmotnost pro dopravu</b>	290 kg	1200 kg s manipulačním rámem
<b>Rozměry pro dopravu</b>	D.1000 x 950 (v) mm	1200 x 1600 x 3500 (v) mm
<b>Vnější rozměry při používání</b>	Krátká trubice: ø 1100 x 1400 (v) mm Střední trubice: ø 1000 x 1500 (v) mm Dlouhá trubice: ø 1000 x 1600 (v) mm	2000 x 1600 x 3300 (v) mm Včetně ochrany
<b>Kapacita pro chemické solí</b>	Do 0,600 kg/min.	Do 0,600 kg/min.
Zařízení mají odpovídající pneumatické a elektrické vybavení a silné odsávání výparů s centralizovaným odsávacím zařízením		
<b>Důležité přípojky</b>	<b>Napětí:</b> 220 V - 50 Hz Stlačený vzduch Dusík/argon	<b>Napětí:</b> 220 V - 50 Hz Stlačený vzduch Dusík/argon
<b>Aplikace:</b>	<b>Tavící pece:</b> 300 – 600 kg Al <b>Udržovací pece:</b> 300 – 600 kg Al <b>Pánve:</b> 300 – 700 kg Al	



## Příloha 2

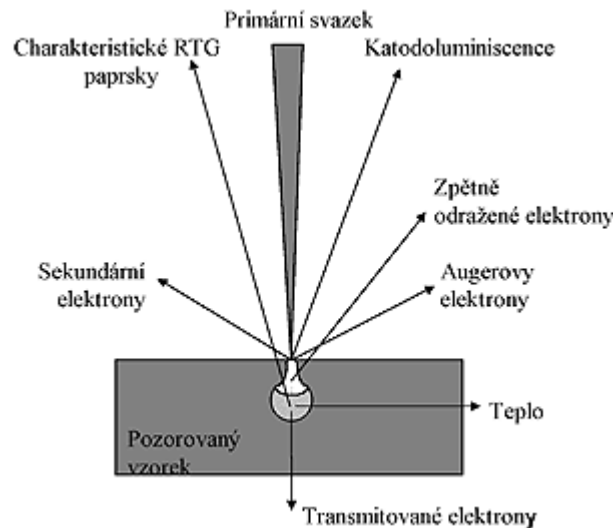
### Aplikace zařízení LASER

<b>Slitiny:</b>	Al/Si - Al/Si/Cu - Al-Mg - Cu/Zn - mosazi
<b>Technologie:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lití do písku, gravitační lití do kokil, nízkotlaké lití, vysokotlaké lití a jiné</li></ul>
<b>Typy odlitků:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Odlitky pro součásti motorů: klikové skříně, písty, hlavy válců, bloky válců, skříně převodovky, skříně řízení</li><li>• Kola z lehkých slitin pro automobily</li><li>• Odlitky pro strojírenství, hydraulické systémy (nepustné tlakové ventily)</li><li>• Odlitky pro oblast hygienickou a vybavení domů</li><li>• Výroba částí a odlitků z mosazi pro vybavení domů</li></ul>



### Příloha 3

#### Princip rastrovacího mikroskopu a princip analýzy EDX



#### Princip rastrovacího elektronového mikroskopu

##### Princip analýzy EDX

Při ozáření materiálu elektrony vzniká též rentgenové záření, které je vyvoláno vzájemným působením elektronů na materiál. Toto RTG záření dosahuje pro každý prvek jisté specifické energie, která je užita k identifikaci prvků obsažených ve vzorku. Buzení rentgenového záření se dělí na spojitě brzděné záření a záření charakteristické pro určité prvky. Brzděné záření vzniká zbrzděním primárních elektronů ve vzorku. Charakteristické RTG záření prvků vzniká, pokud jsou zásahem primárních elektronů vyraženy jednotlivé elektrony vnitřních slupek atomu. Ty jsou nahrazeny elektrony z vyšších energetických hladin a rozdílová energie je ve formě záření. Tato energie je charakteristická pro každý jednotlivý prvek.

**Příloha 4**

Hodnoty rafinační soli Coveral:

<b>1.</b>	<b>IDENTIFIKACE LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU A VÝROBCE NEBO DOVOZCE</b>				
<b>Chemický název látky/obchodní název přípravku:</b>					
Název :	<b>COVERAL GR 2410</b>				
Další názvy látky:					Kód: R6811FRA2
<i>Použití látky nebo přípravku</i>					
Určené nebo doporučené použití látky (přípravku)			Slévárnictví		
2.			Informace o složení přípravku		
<b>Obsah</b>					
<b>Chemický název</b>					
<b>Obsah v (%)</b>					
Dusičnan sodný					
5-10					
Uhličitan sodný					
10-20					
Fluorid hlinitodraselný					
10-20					
Barva:			šedá		
Zápach (vůně):			bez zápachu		
Teplota (rozmezí teplot) tání/tuhnutí (°C):			> 650		
Hustota (při 20°C):			1,0 g/cm <sup>3</sup>		
ve vodě			částečně rozpustný		



## Příloha 5

### Popis tlakové zkoušky odlitků

Nejprve se odlitek vyjme z palety. Každý kus se kontroluje vizuálně, vadné kusy se vyřadí.

Odlitek se vloží do přípravku v tlakovacím přístroji a utěsní se. Následně se tlakem vzduchu ve vodní lázni zkouší tlakotěsnost. Tlak v odlitku  $6 \pm 1$  bar (nastavení tlaku na horní hranici tj. 7 barů při teplotě  $40 \pm 5$  °C), dílec musí být zaplavován pozvolna. Po zaplavení dílce a zklidnění hladiny se sleduje výskyt úniku vzduchu v podobě bublinek. V případě, že do doby 10-15 vteřin k jejich úniku nedojde, odlitek se považuje za těsný. V případě podezření z netěsnosti odlitku (únik byť jen jediné bublinky) doba tlakování odlitku se prodlouží na dobu nezbytně nutnou pro definitivní určení těsnosti, nebo netěsnosti odlitku. Během tlakových zkoušek je nutno nejméně 1x v průběhu každé směny vyměnit vodu .



## Pokračování

### Tlaková zkouška

Inproma s.r.o.

#### **PŘÍLOHA č.2 K OPERAČNÍ A KONTROLNÍ NÁVODCE TLAKOVÁNÍ DÍLCŮ OD FIRMY HYDAC**

NÁZEV A ČÍSLO VÝKRESU: 01202539, 01205437, 01205318

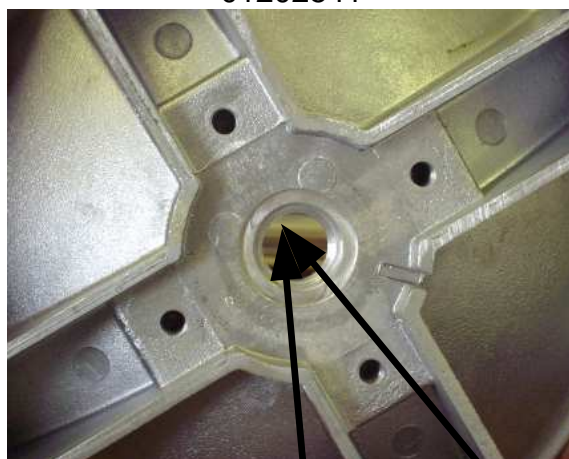
**DÍLCE NF...1310**

Vypracoval: Dvořák

Schválil: Korda

List:10

01202541



**G**

**1**

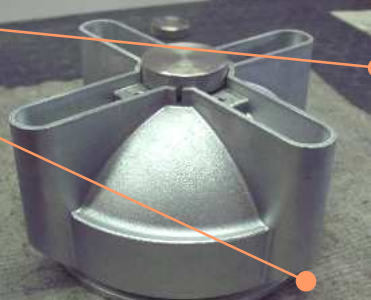
**G**

**1**

**G**.....znak těsnosti dílce

**1**.....osobní znak pracovníka



Deckel NF 1310	01202511	Podtlak 16/9  Podtlak 17/0	
----------------	----------	----------------------------------	--



